

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Infratekniikka

2018

Santeri Nykänen

LOUHINTA-, PAALUTUS- JA PURKUTYÖN TÄRINÄN VOIMISTUMINEN ERI RAKENTEISSA RESONANSSIN TAKIA

Santeri Nykänen

LOUHINTA-, PAALUTUS- JA PURKUTYÖN TÄRINÄN VOIMISTUMINEN ERI RAKENTEISSA RESONANSSIN TAKIA

Rakentamisen aiheuttamien maantärinöiden suureita mitataan nykyohjeistuksen mukaan rakennusten perustuksista. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, voimistuuko värinä korkeissa rakennuksissa ylemmissä kerroksissa resonanssin eli myötävärähtelyn takia. Värähtelyä mitattiin louhinta-, paalutus- ja purkutyömaiden läheisyyksissä sijaitsevista rakennuksista sekä alimmassa, keskimmaisessa ja ylimmässä kerroksessa.

Värähtelyn kehittymistä rakenteissa tutkittiin värinän suureiden heilahdusnopeuden, amplitudin ja taajuuden avulla. Työssä kiinnitettiin huomiota värinän taajuuteen ja verrattiin sitä rakenteen laskennalliseen ominaistaajuuteen. Teoriaosuudessa esitettiin tutkittavien rakennustöiden värinäkuormitusten tyypillisiä taajuusalueita.

Paalutustyön matalataajuinen värinä asettui lähimmäksi tutkittavien rakenteiden ominaistaajuuksia. Paalutuksen aiheuttama värähtelyä tutkittiin kahdessa eri kohteessa, joista toisessa päästiin mittaamaan paalutuksen taajuussisältö sekä maaperässä että rakenteissa. Maaperässä taajuussisältö oli hiukan rakenteiden taajuussisältöä korkeampaa. Molemmissa tutkimuskohteissa paalutustyön aiheuttama värinä pääsi voimistumaan, ja värinä oli suurimmillaan yli kaksinkertaista.

Myös louhinta- ja purkutyössä oli satunnaista voimistumista havaittavissa, vaikka niiden värinäkuormitus oli reilusti rakenteiden ominaistaajuutta korkeampaa. Voimistumista tutkittiin purkutyön osalta kahdessa eri kerrostalossa saman työn aiheuttamana, joista toisessa värinä voimistui ja toisessa vaimeni. Louhintatyön värinää tutkittiin myös kahdessa eri kohteessa. Toisessa korkeataajuinen värinä vaimeni, mutta sai rakenteen värähtelemään matalammalla taajuudella. Toisessa kohteessa taas värähtely voimistui lähes nelinkertaiseksi. Louhinta- ja purkutyön osalta värinän kehittyminen rakenteissa osoittautui varsin epä johdonmukaiseksi, eikä mitään suoraviivaisia johtopäätöksiä pystytty tekemään.

ASIASANAT:

louhinta, paalutus, purkutyö, värinä, resonanssi, heilahdusnopeus, amplitudi, taajuus, ominaistaajuus, värähtely

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering

Instructor Pirjo Oksanen, M.Sc.

2018| 44 + 20

Santeri Nykänen

INCREASE OF BLASTING, DEMOLITION AND PILE DRIVING VIBRATIONS DUE TO RESONANCE

According to the current standards are vibrations caused by construction work being measured in the foundation of buildings. The purpose of this thesis was to investigate whether vibrations increase in tall buildings due to resonance. Vibrations were measured in buildings located near blasting, demolition and pile driving work sites on several different floors.

The progression of vibrations in the buildings was investigated by variables such as velocity, amplitude and frequency. Attention was paid to the natural frequencies of the buildings and the frequencies of the vibrations caused by the construction work.

Low frequency vibrations caused by pile driving were the closest to the natural frequencies of the examined buildings. In two of two cases did the vibrations increase. A growth doubling the velocity was measured.

Increase of high frequency vibrations caused by blasting and demolition was also measured in some cases although the natural frequencies of the buildings were largely lower. In one of two cases demolition vibrations increased and in one of two cases blasting vibrations increased. In one building did the structure start to vibrate on a lower frequency than the original blasting vibration although the velocity did weaken. Then again in one building the velocity grew to nearly four times as high on the top floor as it was in the foundations. Increase regarding blasting and demolition vibrations turned out to be coincidental and no coherent conclusions could be made.

KEYWORDS:

Blasting, Pile Driving, Demolition, Vibration, Frequency, Velocity, Amplitude, Resonance

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 TÄRINÄ	7
2.1 Tärinä ja värähtely	7
2.2 Heilahdusnopeus, amplitudi, taajuus ja kiihtyvyys	8
2.3 Louhintatärinän aaltotyypit	10
2.4 Paalutustärinä	11
2.5 Tärinän eteneminen eri pohjamailla	12
2.6 Tärinän siirtyminen rakenteisiin	14
2.7 Tärinän voimistuminen rakenteissa	16
3 TÄRINÄMITTAUKSET	22
3.1 Mittauskalusto	22
3.2 Tulosten analysointi	22
3.3 Paalutustyö Asentajakatu 2:ssa	23
3.4 Paalutustyö Vähäheikkiläntie 56:ssa	26
3.5 Purkutyö Espoon Länsituulentiellä	29
3.6 Louhintatyö Rauman Satamassa	33
3.7 Louhintatyö Pakkarinkatu 3a B:ssä	37
4 JOHTOPÄÄTÖKSET	41
LÄHTEET	43

LIITTEET

Liite 1. Asentajakatu 2. Tärinäarvot maassa ja ensimmäisessä kerroksessa
Liite 2. Asentajakatu 2. Kaikki heilahdusnopeuksien arvot kerroksittain
Liite 3. Vähäheikkiläntie 56. Suurimpien tärinätapahtumien kuvaajat
Liite 4. Länsituulentie 6 ja 8. Suurimpien tulosten histogrammikuvaajat
Liite 5. Viljasiihot. Kaikki heilahdusnopeuksien arvot kerroksittain
Liite 6. Pakkarinkatu 3a B. Kaikki heilahdusnopeuksien arvot kerroksittain

KAAVAT

Kaava 1. Heilahdusnopeus.	9
Kaava 2. Kiihtyvyys.	9
Kaava 3. Taajuus.	9
Kaava 4. Maaperän alin ominaistajuus.	13
Kaava 5. Rakennuksen alin vaakasuuntainen ominaistajuus.	17
Kaava 6. Kappaleen ominaistajuus.	19
Kaava 7. Kappaleen vaimentamaton ominaistajuus.	19

KUVAT

Kuva 1. Asentajakatu 2.	23
Kuva 2. Tärinämittarin anturi kiinnitettynä lattiaan.	24
Kuva 3. Vähäheikkiläntie 56.	27
Kuva 4. Länsituulentie 6.	29
Kuva 5. Länsituulentie 8.	30
Kuva 6. Viljasiilot.	33
Kuva 7. Pakkarinkatu 3a.	38

KUVIOT

Kuvio 1. Sinimuotoinen eli harmoninen heilahdusliike.	8
Kuvio 2. Runkoaallot.	10
Kuvio 3. R-aalto.	11
Kuvio 4. P- ja S-aaltojen etenemisnopeuksia (m/s) eri pohjamailla.	12
Kuvio 5. Suoraviivainen aalto, heijastunut aalto ja taittunut aalto.	14
Kuvio 6. Tärinän siirtyminen maahan, eteneminen maassa ja siirtyminen rakenteisiin.	15
Kuvio 7. Kolmikerroksisen rakennuksen rungon värähtelyn ominaismuotoja.	18
Kuvio 8. Aaltorintama kohtaa rakenteen, kun tärinälähde on lähellä tai kaukana.	18
Kuvio 9. Pohjamaan pienet erot voivat aiheuttaa suuria eroja tärinöiden voimistumisessa.	21
Kuvio 10. Asentajakatu 2. Heilahdusnopeuden suurimmat arvot (mm/s).	25
Kuvio 11. Asentajakatu 2. Mitatut suurimmat amplitudin arvot (μm).	26
Kuvio 12. Vähäheikkiläntie 56. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).	28
Kuvio 13. Länsituulentie 6. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).	31
Kuvio 14. Länsituulentie 8. Suurimmat mitatut heilahdusnopeuden arvot (mm/s).	32
Kuvio 15. Rakenteen värähtely louhintatärinää matalammalla taajuudella.	35
Kuvio 16. Louhintatärinän tehokas vaimeneminen.	35
Kuvio 17. Viljasiilot. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).	36
Kuvio 18. Viljasiilot. Mitatut suurimmat amplitudin arvot (μm).	37
Kuvio 19. Pakkarinkatu 3a. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).	39
Kuvio 20. Pakkarinkatu 3a. Mitatut suurimmat amplitudin arvot (μm).	40

TAULUKOT

Taulukko 1. Asentajakatu 2. Taajuussisällön muuttuminen maaperästä rakenteisiin siirtyessä (Hz).	25
Taulukko 2. Asentajakatu 2. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).	25
Taulukko 3. Asentajakatu 2. Mitatut suurimmat amplitudin arvot (µm).	26
Taulukko 4. Vähäheikkiläntie 56. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s)	28
Taulukko 5. Länsituulentie 6. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).	32
Taulukko 6. Länsituulentie 8. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).	33
Taulukko 7. Viljasiilot. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).	36
Taulukko 8. Viljasiilot. Mitatut suurimmat amplitudin arvot (µm).	37
Taulukko 9. Pakkarinkatu 3a. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).	39
Taulukko 10. Pakkarinkatu 3a. Mitatut suurimmat amplitudin arvot (µm).	40

1 JOHDANTO

Nykyohjeistuksen mukaan rakentamisen aiheuttamien värinöiden sallittuja raja-arvoja mitataan rakennusten perustuksista. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, voimistuu-ko louhinta- ja paalutustärinä rakenteissa resonanssin takia. Resonanssilla eli myötä-värähtelyllä tarkoitetaan fysikaalista ilmiötä, jossa värähtelijä vastaanottaa energiaa omalla ominaistajuuudellaan toiselta värähtelijältä. Ulkopuolinen voima saa siis kappaleen värähtelemään ominaistajuuudellaan. Jotta resonanssi-ilmiö toteutuu, on ulkopuo-lisen värähtelyn taajuuden oltava sama tai lähes sama kuin kappaleen ominaistajuuus. Ilmiö voimistaa värähtelyn erityisen suureksi (Hämeri ym. 2010, 23.)

Voimistumista tutkitaan suorittamalla värinämittauksia sekä louhinta-, purku- että paalu-tustyömaiden läheisyydessä olevissa rakennuksissa kerroksittain. Rakennuksiin asen-netaan värinämittarit useampiin eri kerroksiin, ja ylempien kerrosten mittaustuloksia verrataan rakennusten perustuksista saatuihin arvoihin. Mittauksilla tutkitaan värähte-lyn voimistumista heilahdusnopeuden, amplitudin ja taajuuden perusteella.

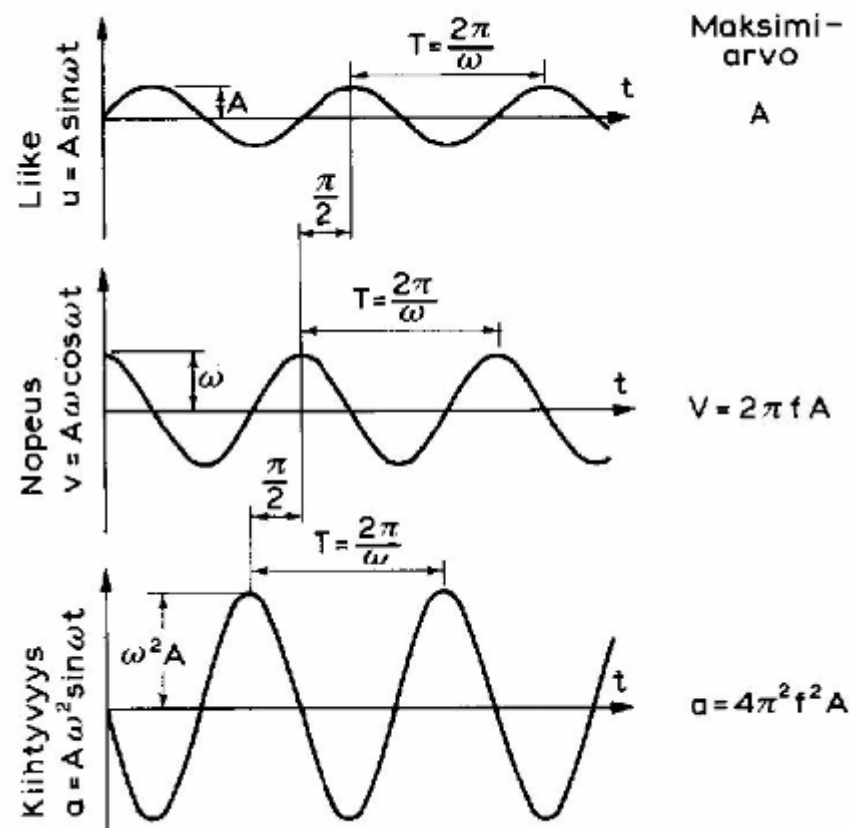
Mittauksia suoritetaan eri tavoin perustetuissa kerrostaloissa ja kantavilta rakenteilta toisistaan eroavissa rakennuksissa. Rakennuksille määritetään ominaistajuuudet, ja mittaussuureiden perusteella tutkitaan, kuinka voimakas ja minkä laatuinen värinä aihe-uttaa rakenteisiin resonanssia.

2 TÄRINÄ

2.1 Tärinä ja värähtely

Värähtelyllä tarkoitetaan kiinteässä kappaleessa tapahtuvaa ajallisesti muuttuvaa liikepoikkeamaa, jossa samat vaiheet toistuvat tietyin aikavälein. Värähtely on siis jaksollista liikettä. Kappaleen liike tietyistä vaiheista uudelleen samaan vaiheeseen, esimerkiksi ääriasennosta toiseen ja takaisin lähtökohtaansa, on yksi värähdys eli jakso. Yhteen värähdykseen kuluva aika sanotaan *värähdysajaksi* eli jaksonajaksi T (Lehto & Luoma 1994, 114.)

Kun värähtely ylittää ihmisen aistikynnyksen, puhutaan *tärinästä*. Maantärinät käsitellään maanpinnan aaltoliikkeeksi, joka aiheutuu seismisten aaltojen etenemisestä. Eri-laisia seismisiä aaltoja aiheuttavat muun muassa maanjäristykset, paalutukset, räjäytykset, liikenne ja erilaiset koneet. Yksinkertaisin heilahdusliike on sinimuotoinen, jota myös kutsutaan *harmoniseksi heilahdukseksi* (kuvio 1). Vaikkei sinimuotoista heilahdusta luonnossa juurikaan ilmene, voidaan louhintatärinää käytännön vaatimissa tarkkuuksissa pitää sinimuotoisena (V. Hongisto, henkilökohtainen tiedonanto 2017; Vuolio 2012, 298.)



Kuvio 1. Sinimuotoinen eli harmoninen heilahdusliike (Vuolio 2012, 299).

2.2 Heilahdusnopeus, amplitudi, taajuus ja kiihtyvyys

Kappaleen suurinta poikkeamaa tasapainoasemastaan kutsutaan amplitudiksi A . Liikkeen ääriasentojen välimatka on näin ollen $2A$. Maantärinöitä tarkkaillaan yleisimmin kuitenkin heilahdusnopeuden v ja kiihtyvyyden a perusteella, jotka lasketaan kaavoilla 1 ja 2 (Lehto & Luoma 1994, 114; Vuolio 2012, 298.)

$$v = 2\pi f A$$

jossa

v = heilahdusnopeus (mm/s)

f = taajuus (Hz)

A = amplitudi (mm).

Kaava 1. Heilahdusnopeus (Vuolio 2012, 298).

$$a = 2\pi f v$$

jossa

v = heilahdusnopeus (mm/s)

f = taajuus (Hz)

a = kiihtyvyys (m/s²).

Kaava 2. Kiihtyvyys (Vuolio 2012, 298).

Värähdysliikkeen taajuus f määritellään värähtelyjen lukumäärän ja niihin kuluneen ajan mukaan kaavalla 3 (Lehto & Luoma 1994, 114).

$$f = \frac{n}{T}$$

jossa

n = värähtelyjen lukumäärä

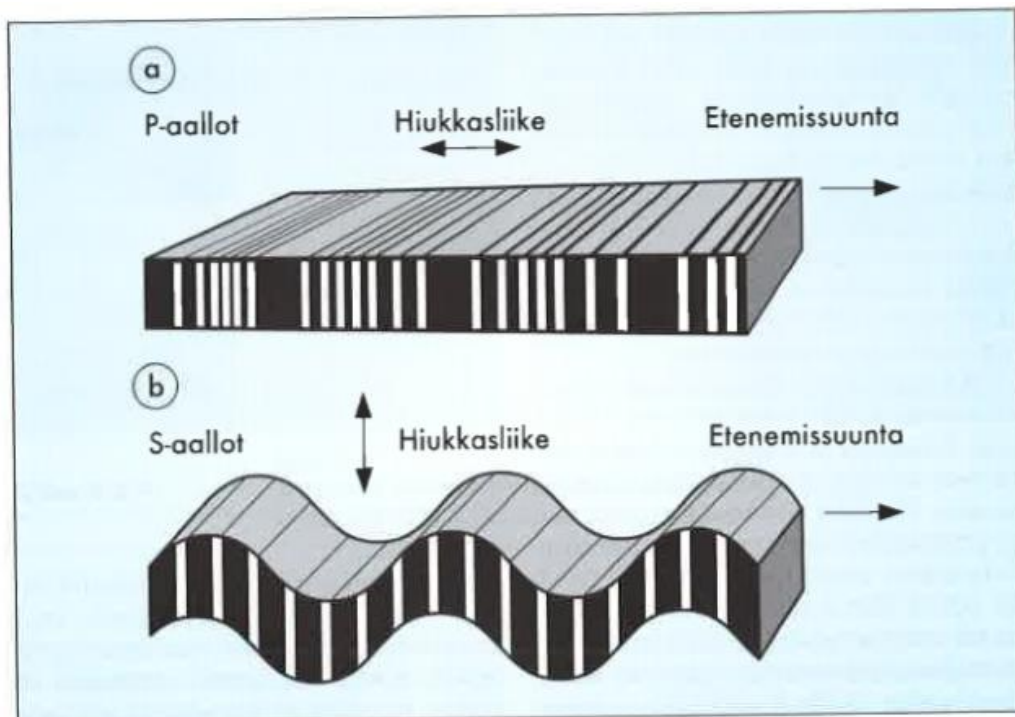
T = värähtelyihin kulunut aika

Kaava 3. Taajuus (Lehto & Luoma 1994, 114).

2.3 Louhintatärinän aaltotyypit

Louhintaräjähdyksessä syntyvä paineaalto aiheuttaa kalliassa vastareaktioita, jotka aiheuttavat aineen tiivistymistä ja usein myös murskaantumista. Loppuosa paineaallon voimasta jatkaa etenemistä väliaineessa shokkiaaltona, jonka vaikutusalue on noin yhden senttimetrin paksuinen. Shokkiaalto on nopein kaikista räjähdysten aiheuttamista aaltoliikkeistä. Se tiivistää ja rikkoo kalliota, jolloin sen energiaa häviää ja etenemisnopeus pienenee. Kun aallon voimakkuus on vaimentunut niin paljon, ettei se aiheuta väliaineeseen enää pysyviä muutoksia, vaan hiukkaset palaavat puristuksen ja vedon loputtua tasapainoasemaansa, on aalto muuttunut kimmoaallosi (Vuolio 2012, 299).

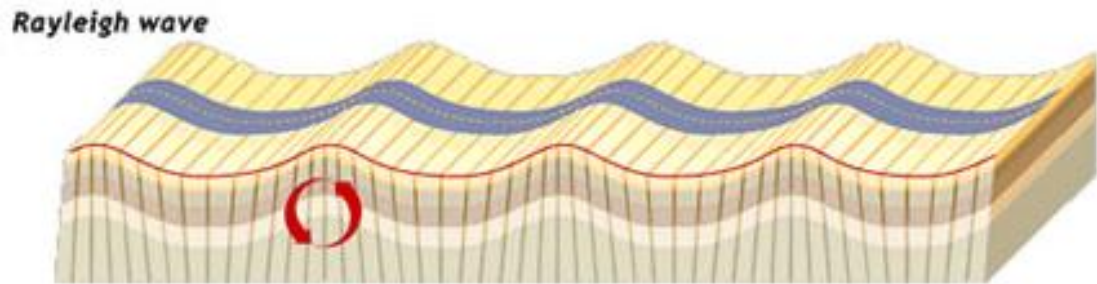
Kimmoaaltoja esiintyy kahtena päätyyppinä, runkoaaltoina ja pinta-aaltoina. Runkoaalloista tunnetuimpia ovat P-aallot ja S-aallot. P-aalloissa liike tapahtuu pitkittäisesti, eli ainehiukkaset siirtyvät etenemissuunnassa (kuvio 2a). S-aalloissa liike on poikittaista, eli ainehiukkaset siirtyvät kohtisuorasti etenemissuuntaan nähden (kuvio 2b) (Vuolio 2012, 299).



Kuvio 2. Runkoaallot (Vuolio 2012, 299).

Pinta-aalloista tunnetuin on Rayleigh-aalto eli R-aalto (kuvio 3). Se syntyy, kun runkoaaltorintama kohtaa vapaan rajapinnan ja taipuu. R-aalto aiheuttaa ellipsin muotoisen

liikkeen, joka on osittain aallon etenemissuuntainen ja osittain kohtisuora etenemissuuntaan nähden. Louhintaräjäytyksen on todettu aiheuttavan myös muita aaltotyyppisiä, mutta käytännössä seismisissä tutkimuksissa tarkkaillaan edellä mainittuja kolmea aaltotyyppiä. P-aaltojen etenemisnopeus on näistä suurin, ja niiden seismisiä nopeuksia on käytetty Suomessa rakenteiden vaurioitumisvaaraa käsiteltäessä (Vuolio 2012, 299,300).



Kuvio 3. R-aalto (sms-tsunami-warning.com 2018).

2.4 Paalutustärinä

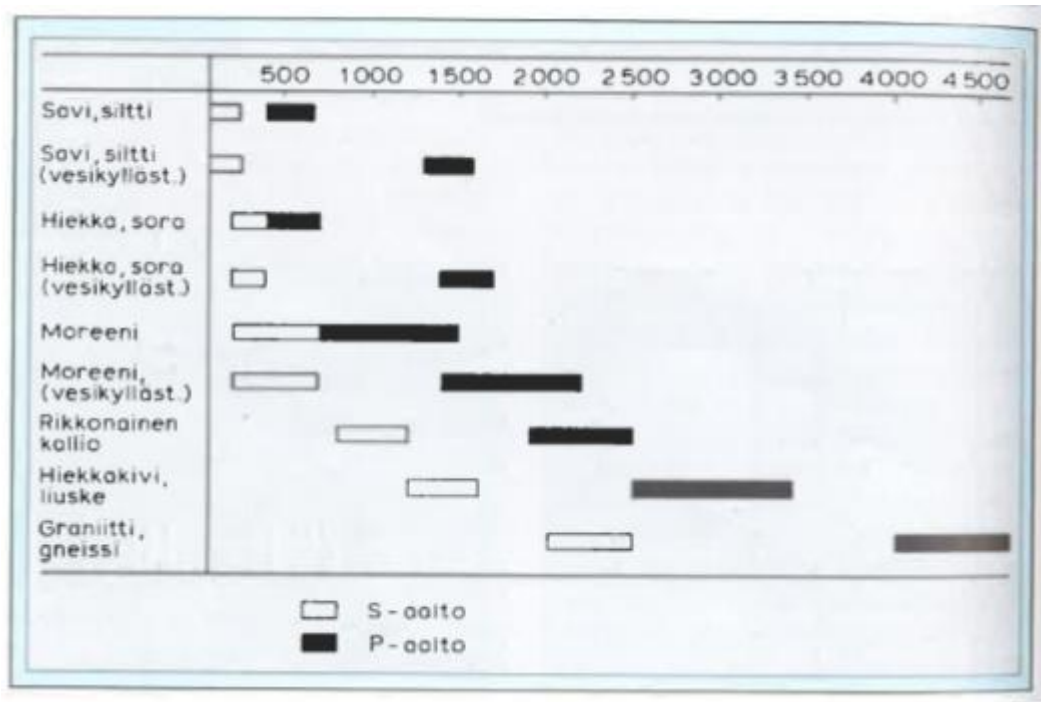
Lyöntipaalutus aiheuttaa yleensä selvästi suuremmat tärinät kuin muut paalutusmenetelmät. Lyönti pudotusjätkäleellä on iskumaista ja hydraulivasaralla jaksollisesti iskumaista. Yleensä suurin tärinä syntyy paalun kärjestä, mutta varsinkin tiiviissä pohjamaissa myös paalun vaippavastuksella on merkitystä värähtelyn syntymiseen. Myös paalun vaakasuuntainen heiluminen aiheuttaa tärinää (RIL 253-2010, 43).

Pudotusjätkäleellä paalutettaessa värähtelyn taajuus maassa lähialueella on yleensä noin 5–40 Hz. Pehmeissä maakerroksissa taajuus on jonkin verran alhaisempi kuin tiiviissä kerrostumissa. Tärinän lähialue ulottuu lyötävästä paalusta etäisyydelle, joka on noin 50–100% paalupituudesta. Kauempana paalusta taajuus tyypillisesti alenee ja on noin 5–20 Hz. Yksittäistä selvästi erottuvaa huippua ei taajuuksissa ole yleensä todettavissa (RIL 253-2010, 43).

Kun paaluja asennetaan hydraulisella iskuvasaralla ja iskut ovat jaksollisia, on tärinän taajuusalue maassa laajempi kuin pudotusjätkäleellä paaluttaessa. Taajuus vaihtelee yleensä välillä 5–100 Hz, ja yksittäisiä taajuushuippuja aiheutuu lyönnin iskutaajuudella ja sen monikerroilla (RIL 253-2010,44).

2.5 Tärinän eteneminen eri pohjamailla

Louhinnan ja paalutuksen aiheuttamien tärinääaltojen leviämiseen vaikuttaa merkittävästi maa- ja kallioperäolosuhteet. Maaperä vaikuttaa tärinöiden etenemisnopeuteen sekä taajuussisältöön (Vuolio 2012, 300). Louhintatärinän etenemisnopeuksia erilaisissa maalajeissa on esitetty kuviossa 4.



Kuvio 4. P- ja S-aaltojen etenemisnopeuksia (m/s) eri pohjamailla (Vuolio 2012, 300).

Maaperän värähtelyn taajuussisältöön vaikuttaa tärinälähteen tyypin lisäksi maaperälle ominaiset värähtelymuodot ja -taajuudet. Pehmeille maalajeille voidaan esimerkiksi laskea arvio maaperän alimmasta ominaistajuudesta kaavalla 4 (Talja ym. 2008, liite B, 6). Lauseke antaa homogeenisen vakioepäsuuren maapohjan alimman ominaistajuuden pystysuoralle värähtelylle.

$$f_0 = \frac{c_s}{4H}$$

jossa

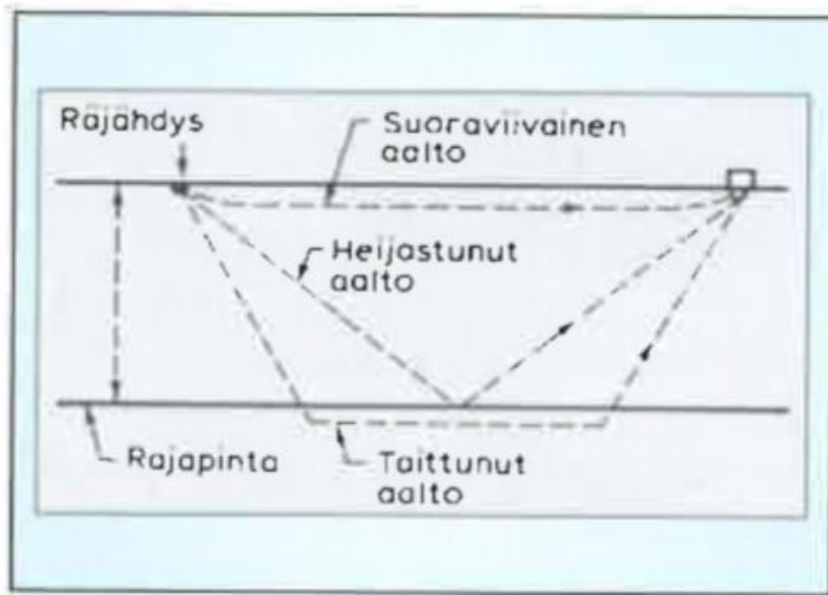
c_s = leikkausaallon nopeus

H = pehmeän maakerroksen paksuus

Kaava 4. Homogeenisen vakiopaksuisen maapohjan alin ominaistaaajuus (Talja ym. 2008, liite B, 6).

Pehmeillä savimailla merkittävimmät värähtelyt esiintyvät yleensä 4–10 Hz taajuusalueella, kovilla savimailla taajuudet ovat yleensä yli 10 Hz ja moreenilla usein yli 30 Hz. Taajuussisältöön vaikuttaa maaperän lisäksi etäisyys värähtelylähteestä. Yli 15 metrin etäisyydellä pehmeillä savimailla voimakkainta on yleensä matalataajuinen (5–15 Hz) värähtely, kun taas kovemmilla moreenimailla korkeampitaajuinen (10–25 Hz) värähtely dominoi (Talja ym. 2008, liite B, 6; Talja 2004, 37).

Tärinäaalto voi edetä suoraviivaisesti, mutta se voi myös vapaan pinnan kohdatessaan joko heijastua tai taittua (kuvio 5). Aalto voi edetä myös samanaikaisesti sekä suoraviivaisesti, taittuneena että heijastuneena. Lisäksi ainoastaan suorassa kulmassa saapuvassa aallossa puristus pysyy puristuksena ja leikkaus leikkauksena. Tämä tarkoittaa sitä, että yhdestä P-aallosta syntyy yleensä sekä kaksi taittunutta P- ja S-aaltoa sekä kaksi heijastunutta P- ja S-aaltoa. Samoin käy myös S-aalloille (Vuolio 2012, 300).

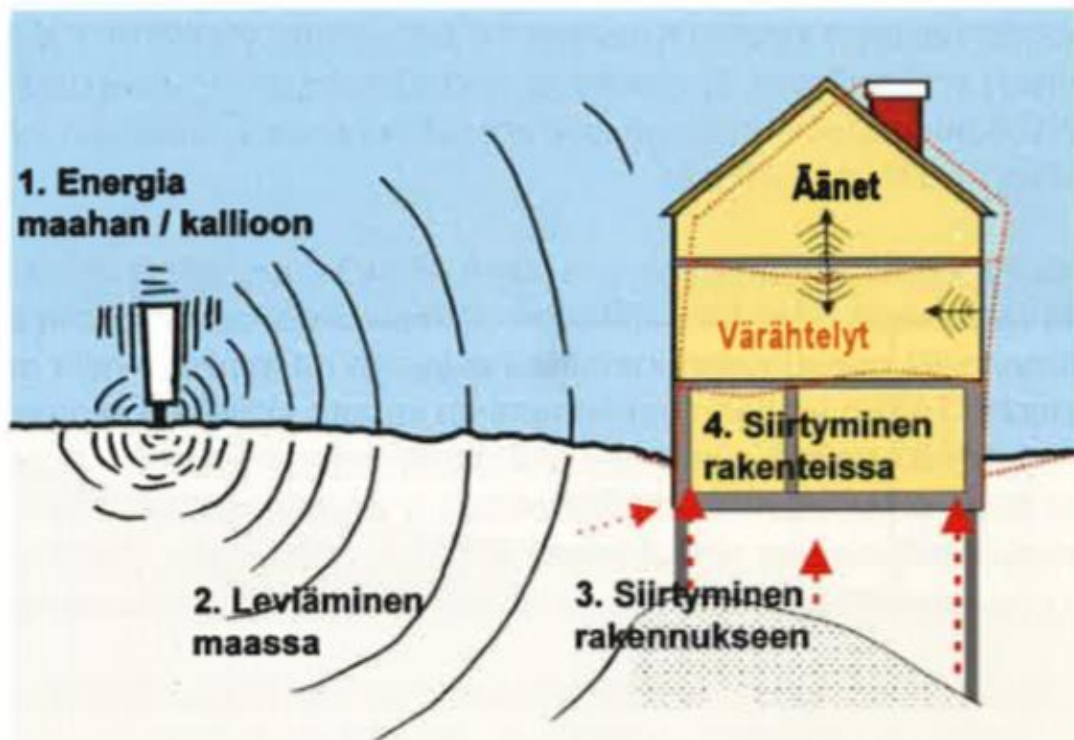


Kuvio 5. Suoraviivainen aalto, heijastunut aalto ja taittunut aalto (Vuolio 2012, 300).

Louhintätärinää aiemmin tutkinut Rune Gustafsson on esittänyt, että vain noin puolet aallon energiasta siirtyy kallioista saveen, ja mikäli kalliossa on rakoja, on vaimennus vieläkin suurempi. Vuolio (2012) puolestaan arvioi Gustafssonin esityksen varsin varovaiseksi, koska hänen kokemuksensa mukaan pienillä alle 10–20 kg:n momentaanisilla panoksilla kalliota räjäyttäessä tärinä vaimenee kallion ja saveen rajapinnassa lähes kokonaan. Etäisyyden kasvaessa ja suuremmilla panoksilla tilanne on Vuolion mukaan toinen. Heijastuksista, taittumisista ja vaimentumisista johtuen on tärinämittaustuloksissa suurta hajontaa (Vuolio 2012, 300).

2.6 Tärinän siirtyminen rakenteisiin

Tärinä siirtyy sen aiheuttamasta lähteestä ensin maahan, jossa se etenee, kunnes se kohtaa rakennuksen perustukset. Perustuksista tärinä siirtyy rakennuksen runkoon (RIL 253-2010, 68). Tärinän siirtymisen vaiheet on esitetty kuviossa 6.



Kuvio 6. Tärinän siirtyminen maahan, eteneminen maassa ja siirtyminen rakenteisiin (RIL 253-2010, 68).

Kun tärinän taajuus on alhainen ja perustukset ovat kevyitä ja joustavia sekä jäykkyys on vähäistä, liikkuvat perustukset maan tai kallion kanssa samassa vaiheessa ja yhtä paljon. Tällaisia perustuksia ovat muuratut kivi- ja tiiliperustukset, raudoittamattomat tai vain vähän raudoitettut betoniperustukset sekä joskus myös puuperustukset (RIL 253-2010, 67).

Kun tärinän taajuus on korkea ja samalla aallonpituus lyhyt, vaimenee tärinä siirtyessään maasta rakenteisiin. Mitä raskaampi rakenne ja mitä korkeampitaajuisempi tärinä, sitä voimakkaammin tärinä vaimenee. Perustuksissa tärinä on yleensä korkeintaan yhtä suurta kuin maassa. Sen sijaan perustuksista ylärakenteisiin siirtyessä voi värähtely vahvistua merkittävästikin (RIL 253-2010, 68).

Vaikka jäykät massiiviset teräsbetoniperustukset, jotka kestävät hyvin taivutusta, puristusta, vetoa ja leikkausta, siirtävät kuormitusta, on niissä tärinän aiheuttamat siirtymät usein maan tärinää selvästi pienempiä. Tilannetta voi verrata meren aaltoihin, jotka lyövät tankkilaivan runkoon. Sivumitoiltaan pieni ja jäykkä rakenne taas liikkuu aaltojen päällä kuin venepöiju, jolloin varsinkin resonanssitilanteessa suuretkin siirtymät ovat mahdollisia (RIL 253-2010, 68-69).

Vaakavärähtelyä voivat pienentää rakennuksen suuret mitat. Kun rakennuksen perustus on vaakasuunnassa jatkuva ja äärettömän jäykkä, puolittuu teoriassa värähtelyn suuruus, mikäli rakennuksen pituus on suurempi kuin puolet aallonpituudesta. Jos rakennuksen pituus on yhtä suuri aallonpituuden kanssa, häviää vaakavärähtely teoreettisesti täysin. Tämä selittyy sillä, että yhden aallonpituuden matkalla eri vaiheissa olevat rakennukseen kohdistuvat liikkeet tasapainottavat toisensa (RIL 253-2010, 69).

Kun värähtely siirtyy maasta perustukseen ja edelleen runkoon tai lattiaan, värähtelyn suuruuden lisäksi muuttuu myös sen taajuussisältö rakenteiden dynaamisten ominaisuuksien perusteella. Näitä ovat jäykkyys, massa, vaimennus ja rakennuksen ominaistaajuus (RIL 253-2010, 69).

2.7 Värähtelyn voimistuminen rakenteissa

Värähtelyn voimistumista voidaan arvioida kahden eri lähestymistavan perusteella. Voimistumista voidaan tarkastella ottamalla huomioon maaperän värähtelyn koko taajuusalueen kattava yleinen voimistuminen tai ottamalla huomioon rakenteiden resonointi (RIL 253-2010, 69).

Rakentamisen aiheuttamien värähtelöiden voimistumista arvioitaessa käytetään lähes aina tasaisen voimistumisen periaatetta. Tasaiselle vahvistumiselle esitetty värähtelyn suurenuskerroin on huomattavasti pienempi kuin resonanssin vuoksi tapahtuvalle vahvistumiselle esitetty kerroin. Tasaisen vahvistumisen periaatteella voimistumista arvioitaessa käytetään yleensä vertailukelpoisissa olosuhteissa tehtyjä aiempia värähtelämääntämittauksia (RIL 253-2010, 69).

Rakenteiden värähtelötason arviointi resonanssin perusteella on usein haasteellista puutteellisten lähtötietojen vuoksi. Resonanssin perusteella värähtelötasoa arvioitaessa tulisi tietää rakenteiden alimmat ominaistaajuudet ja värähtelyn kuormitustaajuudet (RIL 253-2010, 69).

Tasaisen voimistumisen periaatteella rakennuksen rungon värähtelyjen arviointiin käytetään kerrointa 1.5, kun kyseessä on paalutettu yksikerroksinen rakennus tai useampikerroksinen rakennus. Yksikerroksisten paaluttamattomien rakennusten vastaava

kerroin on 1. Sen sijaan resonanssin perusteella värähtelyn voimistumista arvioitaessa vastaava kerroin on 4 (Talja 2008, 26–27).

Varsinainen resonanssitilanne pääsee syntymään, jos värähtelykuormitus on sekä harmoinen että jatkuvaa ja kuormitustaajuus on samalla alueella rakennuksen tai jonkin sen rakenteen ominaistajuuden kanssa. Tällöin rakenteiden vaimennuskyky vaikuttaa merkittävästi värähtelyjen kehittymiseen. Jos kuormitustaajuus taas on huomattavasti pienempi kuin rakenteen ominaistajuus, värähtelyt siirtyvät samansuuruisina rakenteeseen. Sen sijaan jos rakenteeseen kohdistuva taajuus on huomattavasti ominaistajuutta suurempi, värähtelyt vaimenevat (RIL 253-2010, 70).

Kokonaisena rakennukset värähtelevät helpoimmin vaakasuunnassa, koska niiden jäykkyys on yleensä vaakasuunnassa selvästi pienempi kuin pystysuunnassa (RIL 253-2010, 70). Monikerroksisilla rakennuksilla massa keskittyy useisiin tasoihin. Tällöin rungolla on useita ominaismuotoja, joissa tasot voivat liikkua eri suuntiin (kuvio 7). Alin ominaistajuus on sillä muodolla, jossa massat liikkuvat samaan suuntaan (Talja ym. 2008, liite B, 15).

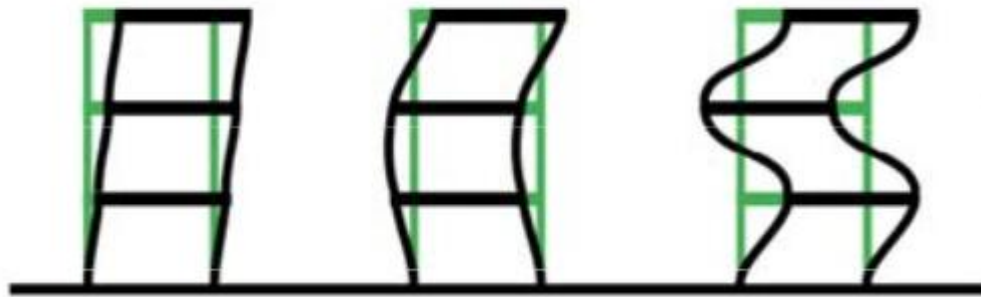
Standardin ISO 4866 lisäyksessä (1994) on esitetty sekä 1–2 kerroksisten pientalojen että kerrostalojen runkojen alimpia mitattuja ominaistajuuksia. Mittaukset on tehty Yhdysvalloissa, ja niiden mukaan pientalojen alimmat ominaistajuudet ovat yleensä 5–14 Hz, keskimäärin 6–8 Hz. Kerrostalojen alimmat ominaistajuudet riippuvat vahvasti rakennuksen korkeudesta. Talon iällä, sijainnilla ja mittasuhteilla sen sijaan ei havaittu olevan oleellista merkitystä ominaistajuuteen. Standardin mittaustulosten mukaan rakennuksen alin vaakasuuntainen ominaistajuus f_n voidaan karkeasti arvioida kaavalla 5 (Talja 2004, 38).

$$f_n = \frac{46}{H} \text{ (Hz)}$$

jossa

H = rakennuksen korkeus (m)

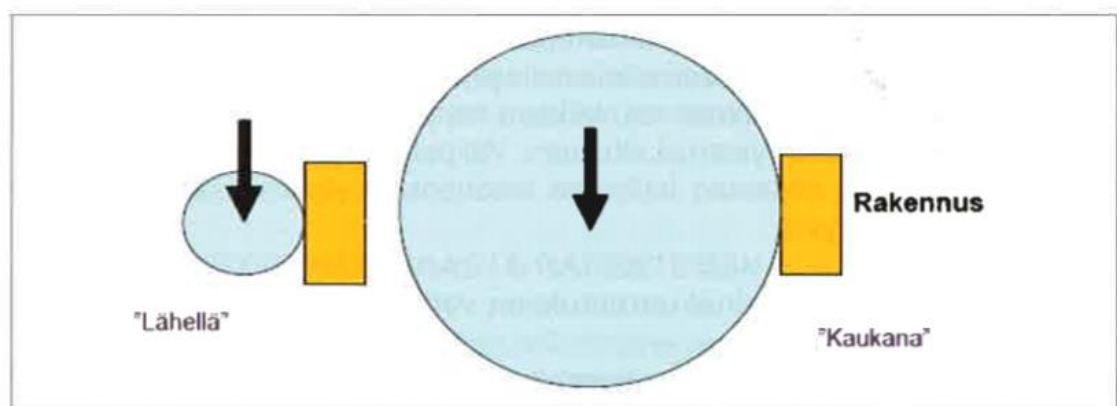
Kaava 5. Rakennuksen alin vaakasuuntainen ominaistajuus (Talja 2004, 38).



Kuvio 7. Kolmikerroksisen rakennuksen rungon värähtelyn ominaismuotoja (Talja ym. 2008, liite B, 15).

Kaavan mukaan tyypillisen 7–8-kerroksisen rakennuksen alin ominaistaaajuus on noin 2 Hz (Talja 2004, 38). Ominaisaajuuksien arvoista voidaan päätellä, että rakennus ei kokonaisuudessaan voi tavanomaisissa olosuhteissa joutua resonanssiin, koska tavanomainen rakentamisesta aiheutuva värinä on yleensä selvästi suurempi kuin 10 Hz (RIL 253-2010, 70).

Kuitenkin esimerkiksi hydraulisen iskuvasaran käytön aiheuttama värähtely voi asettua taajuudella 3–10 Hz. Tällöinkään ei tosin yleensä ole suurta resonanssivaaraa, koska lähellä rakennusta tapahtuvan iskutyön värinäaalto kohtaa rakennuksen eri osat eri aikaan ja eri vaiheissa (kuvio 8). Kauemmasta työkohteesta voi värinäaalto kohdata rakennuksen eri osat mahdollisesti samaan aikaan, mutta silloin amplitudi on yleensä jo vaimentunut pieneksi. Pientalojen resonanssi-ilmiöt rajoittuvat RIL:n mukaan näin ollen lähinnä rautatieliikenteeseen (RIL 253-2010, 70–71).



Kuvio 8. Aaltorintama kohtaa rakenteen, kun värinälähde on lähellä tai kaukana (RIL 253-2010, 71).

Rakennuksen rungon dynaamisilla ominaisuuksilla pitäisi teoriassa olla suuri merkitys, kun tutkitaan kaavoja 6 ja 7 (RIL 253-2010, 57):

$$f_n = \left(\frac{1}{2\pi} \right) \sqrt{\frac{k}{m}}$$

jossa

f_n = ominaistaajuus

k = jäykkyys

m = massa

Kaava 6. Kappaleen ominaistaajuus (RIL 253-2010, 57).

$$w = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

jossa

w = vaimentamaton ominaistaajuus

k = jäykkyys

m = massa

Kaava 7. Kappaleen vaimentamaton ominaistaajuus (RIL 253-2010, 57).

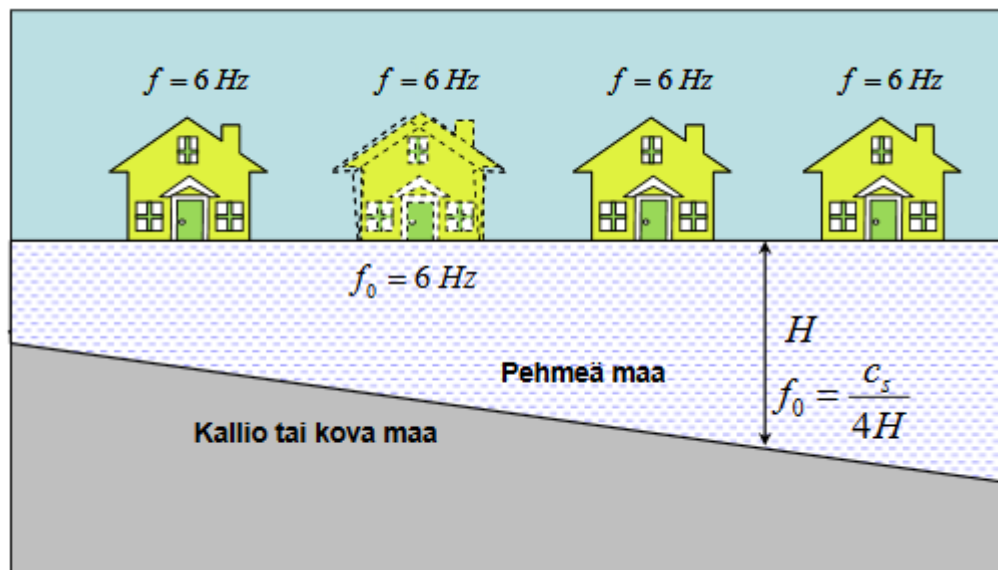
Kaavoista voidaan päätellä, että rakenteen jäykistäminen massaa lisäämättä nostaa ominaistaajuutta ja massan lisääminen rakennetta jäykistämättä taas alentaa ominaistaajuutta. VTT:n mittausten mukaan rakennuksen rungon materiaaleilla ei kuitenkaan ollut selvää vaikutusta vaakavärähtelyn suuruuteen ja voimistumiseen. Myöskään perustamistavalla ei havaittu olevan johdonmukaista vaikutusta mittaustuloksiin, vaikka sen on useissa tutkimuksissa oletettu olevan avainasemassa resonanssin syntyymiseen (Talja 2004, 38).

Eri rakenteilla, kuten palkeilla, laatoilla ja ikkunoilla, on useita eri ominaistajuuksia. Osa rakenteista on väistämättä samalla taajuusalueella maasta siirtyvän värinän kanssa. Jatkuva kuormituksessa voi näin ollen syntyä rakenteisiin resonanssia, jonka suuruus riippuu rakenteen vaimennuksesta. Rakenteiden värähtely voi myös ilmetä häiritseväenä runkoäänenä. Rakennusten kantavat seinät ovat pystysuunnassa hyvin jäykkiä ja voivat siirtää pystyvärähtelyä lähes samansuuruisena herätteenä eri kerroksiin (RIL 253-2010, 69–71).

Välipohjien ominaistajuuksissa on suurta hajontaa. Lyhyemmillä jänneväleillä ominaistajuudet ovat korkeampia ja vastaavasti pidemmillä jänneväleillä matalampia. Jänneväliään 3–8 metristen kevyiden puu- tai teräsrunkoisten lattioiden ominaistajuus on 8–30 Hz, kun taas raskaammilla ja pitempijänteisillä ontelolaatoilla ominaistajuus on yleensä 6–20 Hz. Paikalla valettujen välipohjien ominaistajuudet ovat yleensä korkeita, välillä 20–60 Hz. Kevyiden puu- ja teräsrunkoisten välipohjien vaimennus on 3–7 % ja raskaammilla lattioilla 2–4 %. Raskaammilla lattioilla vaimennukseen vaikuttaa väli-seinien ja muiden varusteiden määrä (RIL 253-2010, 71).

Louhinnan ja paalutuksen aiheuttama värinä on iskumaista ja taajuudeltaan laajakaisista. Mitä terävämpi ja lyhyempi isku, sitä suurempi määrä siinä on taajuuskomponentteja. Isku herättää rakenteiden ominaisvärähtelyn, ja rakenteet jäävät värähtelemään ominaistajuuksillaan. Iskun suuruudesta, rakenteiden jäykkyyksistä, massoista ja vaimennuksista riippuu, kuinka voimakkaaksi värähtely kehittyy. Jäykkyydeltään pienissä rakenteissa voi värähtely tällöin olla amplitudiltaan suurempaa kuin iskun aiheuttama värinä maassa (RIL 253-2010, 71).

Resonanssi-ilmiön vahvistaessa voimakkaasti vain sitä taajuuskomponenttia, jonka ominaistajuus vastaa värinäkuormitusta, on resonanssin ilmeneminen varsin satunnaista. Samasta värinälähteestä aiheutuva värähtely voi hyvinkin pienten rakennerojen vuoksi voimistua eri suuruisesti näennäisesti samanlaisissa rakennuksissa. Lisäksi myös täysin samanlaisissa rakennuksissa voi sama työkohte aiheuttaa merkittävästi erisuuruista värinän voimistumista, koska pienetkin erot pohjaolosuhteissa voivat muuttaa värinän taajuussisältöä (kuvio 9). Myös aaltojen heijastuminen ja taittuminen muuttavat taajuussisältöä. Resonanssin merkitys on ilmetessään kuitenkin erittäin suuri. Joissain värinämittauksissa on todettu värähtelyn kasvaneen jopa noin kuusinkertaiseksi (RIL 253-2010, 71–72; Talja ym. 2008, liite B, 18–19).



Kuvio 9. Pohjamaan pienet erot voivat aiheuttaa suuria eroja tärinöiden voimistumisessa (Talja ym. 2008, liite B, 19).

3 TÄRINÄMITTAUKSET

3.1 Mittauskalusto

Tärinämittaukset suoritettiin ruotsalaisvalmisteisella Sigicom Infralla ja yhdysvaltalaisen Instantelin Minimate Plus -mittarilla. Molemmat mittareista ovat kolmiaksiaalisia, eli tallentavat tärinän suureita pysty- ja kahden vaakakomponentin osalta. Mittareiden tallentamia suureita, joiden perusteella tarkastelua tehdään, ovat heilahdusnopeus, amplitudi ja taajuus.

3.2 Tulosten analysointi

Sigicom Infra on kaukovalvottava tärinämittari, jonka tallentamia mittaustuloksia voidaan reaaliajassa seurata VipNordic-nimisen verkkopohjaisen seurantajärjestelmän avulla. Instantelin Minimate-tärinämittarin tuloksia luettiin Instantelin oman analysointijärjestelmän Blastwaren kautta.

Tuloksia analysoitiin suurimpien arvojen mukaan kerroksittain. Kaikkien kerrosten suurimmat tärinäarvot eivät näin ollen ole välttämättä peräisin samasta tapahtumasta. Suurimpien tulosten mukaan tarkastelemalla saadaan kuitenkin mahdollisimman johdonmukaisia ja ymmärrettäviä tutkimustuloksia. Tuloksia tarkasteltaessa arvioitiin kuvioiden ja taajuuksien perusteella, oliko kyseinen tulos työn aiheuttamaa. Häiriötulokset jätettiin tarkastelusta pois.

Taulukoissa muutosprosentteissa on ilmoitettu kaksi lukemaa, mikäli kehitys ei ole ollut kaikissa mittauspisteissä samansuuntaista. Jos siis värähtely on voimistunut jossain kerroksessa ja toisessa vaimentunut, on ilmoitettu sekä suurin vaimennus- että suurin voimistumisprosentti.

3.3 Paalutustyö Asentajakatu 2:ssa

Turussa sijaitseva Asentajakatu 2 (kuva 1) on viisikerroksinen teräsbetonipaaluin savi-
maalle perustettu kerrostalo, jonka kantavat rakenteet ovat betonia. 20–60 metrin etäi-
syydellä rakennuksesta suoritettiin lyöntipaalutusta. Teoriaosuudessa esitetyllä kaaval-
la 5 laskettuna on talon ominaistajuus 3–4 Hz. Mittauksissa paalutuksen aiheuttama
tärinäkuormitus rakenteissa asettuu vaakasuuntaisen värähtelyn osalta samalle alueel-
le.



Kuva 1. Asentajankatu 2.

Tärinämittauksia suoritettiin sekä maaperästä että ensimmäisestä, kolmannelta ja vii-
dennessä kerroksesta. Maaperään tärinämittari kiinnitettiin maapiikeillä. Rakennukses-
sa mittarit kiinnitettiin kaksipuoleisella teipillä porraskäytävään lattiaan kiinni niin, että
kaikki kolme mittaria olivat samassa linjassa (kuva 2).



Kuva 2. Tärinämittarin anturi kiinnitettynä lattiaan.

Heilahdusnopeuden suhteen tarkasteltaessa värähtely suureni rakenteissa molemmilla vaakakomponenteilla. Suurin muutos tapahtui y-suunnalla, jolla kasvua oli yli 200 %. Pystysuuntainen komponentti hieman vaimeni. Amplitudin suhteen tarkasteltaessa kehitys oli samansuuntaista vaaka-akseleilla, mutta myös pystykomponentti hieman voimistui.

Maaperästä paalutustärinän siirtyessä rakenteisiin värähtely hiukan vaimeni pystysuunnalla, voimistui vaakasuunnalla ja sen taajuussisältö muuttui. Maaperässä taajuus oli 7–8 Hz, ja rakenteisiin siirtyessä se muuttui lähemmäksi rakennuksen ominaistajuutta.

Taulukossa 1 on esitetty taajuussisällön muuttuminen tärinän siirtyessä maasta rakenteisiin. Kuviossa 10 ja taulukossa 2 on esitetty kahden vaaka- ja yhden pystysuunnan suurimmat paalutustyön aiheuttamat tärinäarvot heilahdusnopeuden suhteen. Kuviossa 11 ja taulukossa 3 on esitetty vastaavat arvot amplitudin suhteen. Tapahtumaraportit tärinäarvoista maassa ja ensimmäisessä kerroksessa on esitetty liitteessä 1. Kuviot kaikista tapahtumista heilahdusnopeuden suhteen kerroksittain on esitetty liitteessä 2.

Taulukko 1. Asentajakatu 2. Taajuussisällön muuttuminen maaperästä rakenteisiin siirtyessä (Hz).

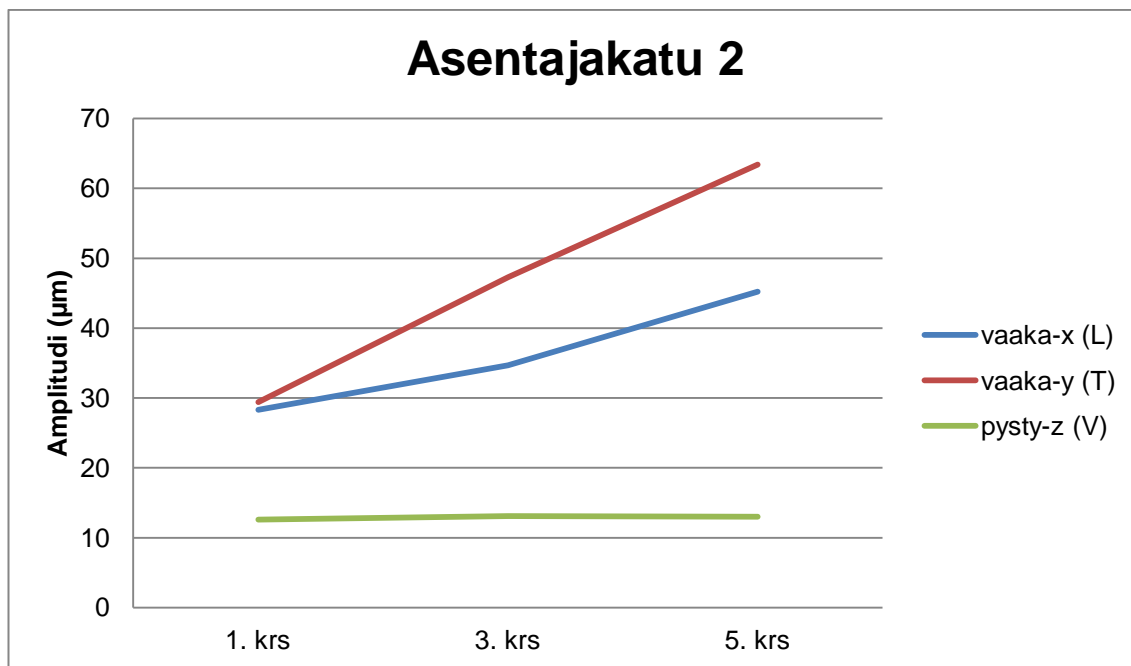
Taajuussisältö (Hz)	vaaka-x (L)	vaaka-y (T)	pysty-z (V)
Maaperä	7.4	ei tulosta	8.0
1.krs	4.6	3.3	7.9



Kuvio 10. Asentajakatu 2. Heilahdusnopeuden suurimmat arvot (mm/s).

Taulukko 2. Asentajakatu 2. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).

Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s)	vaaka-x (L)	vaaka-y (T)	pysty-z (V)	taajuus (Hz)
1.krs	0,63	0,86	0,60	3, 11, 11
3.krs	0,86	1,10	0,58	4, 4, 10
5.krs	1,15	1,95	0,57	4 ,5, 6
Suurin muutos (%)	182.5	226.7	95	



Kuvio 11. Asentajakatu 2. Mitatut suurimmat amplitudin arvot (µm).

Taulukko 3. Asentajakatu 2. Mitatut suurimmat amplitudin arvot (µm).

Mitatut suurimmat amplitudin arvot (µm)	vaaka-x (L)	vaaka-y (T)	pysty-z (V)	taajuus (Hz)
1.krs	28,3	29,4	12,6	3, 3, 10
3.krs	34,7	47,3	13,1	5, 3, 10
5.krs	45,2	63,4	13,0	3, 5, 7
Suurin muutos (%)	159.7	215.6	103.2	

3.4 Paalutustyö Vähäheikkiläntie 56:ssa

Turussa sijaitseva Vähäheikkiläntie 56 (kuva 3) on savimaalle puupaaluin perustettu nelikerroksinen liikerakennus, jonka kantavat rakenteet ovat betonia. Rakennuksen läheisyydessä suoritettiin paalutustyötä lyöntimenetelmällä. Etäisyys paalutukseen on vaihdellut 20:n ja 100:n metrin välillä. Tärinämittarit asennettiin työmaata lähimpänä olevaan siipeen kantavien rakenteiden viereen lattiaan kaksipuoleisella teipillä. Kaikki mittarit kiinnitettiin samaan linjaan lukuun ottamatta kolmannen kerroksen mittaria.

Kolmannen kerroksen tärinämittauspiste jouduttiin viemään noin 5 metriä kauemmas työmaasta, koska samalta linjalta ei löytynyt soveltuvaa tilaa mittaukseen. Maaperän värähtelyä ei päästy mittaamaan, koska piha-alue oli asfaltoitu. Teoriaosuudessa esitetyn kaavan 5 mukaan laskettuna rakennuksen ominaistaajuus on n. 4 Hz.



Kuva 3. Vähäheikkiläntie 56.

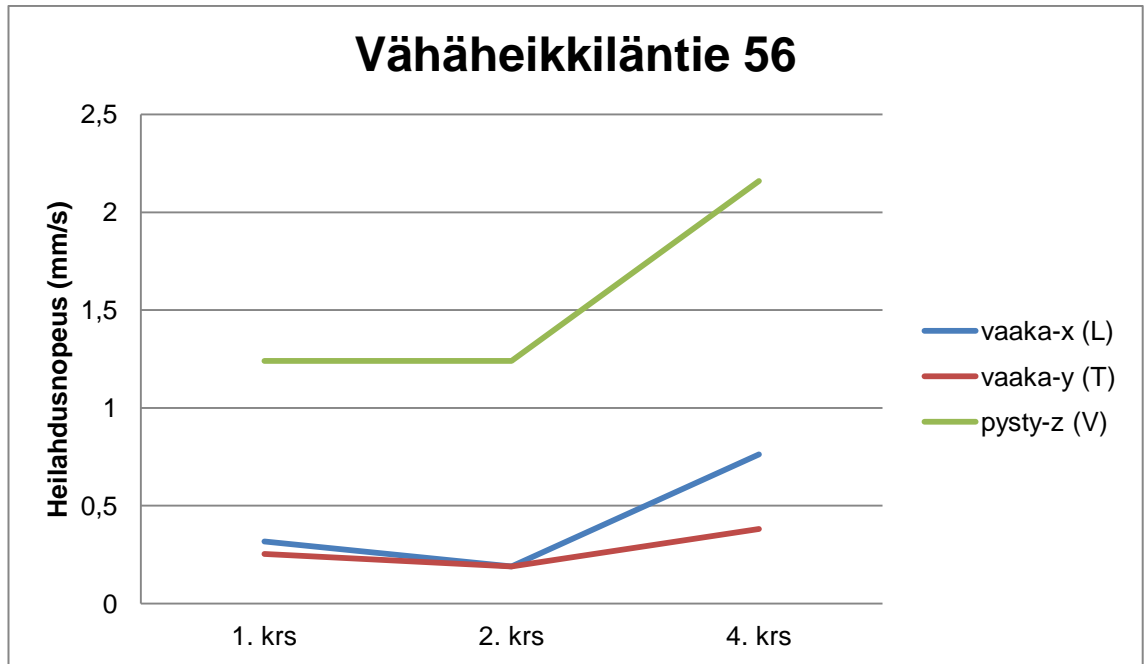
Tärinämittaukset suoritettiin Instantelin Minimatella Histogram Combo -asetuksella. Asetus tekee päivittäisistä tärinäarvoista pylväikköä ja asetetun trigger-arvon ylittävistä tapahtumista kuvaajat. Trigger-arvoksi valittiin 0,3 mm/s. Tarkastelun pohjana käytettiin trigger-arvon ylittäneitä tapahtumia, joiden kuvaajista ja taajuusalueista oli pääteltävissä, että kyseessä oli työmaan aiheuttamaa tärinää. MiniMatella ei pysty hakemaan suurinta amplitudin arvoa. Näin ollen vertailu on tehty vain heilahdusnopeuden suhteen.

Kolmannen kerroksen tärinämittarin taltioimat trigger-arvon ylittäneet tapahtumat eivät olleet kuvaajista ja taajuusalueista päätellen työmaan aiheuttamia. Työmaan aiheuttama värähtely oli siis vaimentunut merkittävästi jo viiden metrin matkalla työmaalta pois päin. Tärinämittaria ei myöskään saatu asennettua saman kantavan pilarin juureen kuin muut mittarit. Näin ollen kolmannen mittarin histogrammiarvojakkaan ei koettu vertailukelpoisiksi, ja siksi mittauspiste on jätetty tarkastelusta pois.

Rakenteissa värähtely oli samalla taajuusalueella kuin rakennuksen laskennallinen ominaistaajuus. Kaikilla komponenteilla värähtely voimistui, kun vertailun pohjana käy-

tettiin ylintä ja alinta kerrosta. Suurin kasvu tapahtui vaakasuuntaisella x-komponentilla, jolla voimistumista oli 240 %. Sen sijaan toisessa kerroksessa värähtely hieman väheni, ja värähtely oli pienimmillään noin 60 % ensimmäisen kerroksen arvosta.

Taulukossa 4 ja kuviossa 12 on esitetty suurimmat heilahdusnopeuden arvot mittauspisteittäin. Taulukossa 4 on esitetty myös taajuudet jokaiselta akselilta ja laskettu suurin muutosprosentti. Käytettyjen värähtelytapauksien kuvaajat esitetään liitteessä 3.



Kuvio 12. Vähäheikkiläntie 56. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).

Taulukko 4. Vähäheikkiläntie 56. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).

Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s)	vaaka-x (L)	vaaka-y (T)	pysty-z (V)	taajuus (Hz)
1. krs	0.317	0.254	1.24	2.6, N/A, 4.1
2. krs	0.190	0.190	1.24	5.0, 4.9, 5.3
3. krs	ei tulosta	ei tulosta	ei tulosta	ei tulosta
4. krs	0.762	0.381	2.16	3.4, 7.4, 4.1
Suurin muutos (%)	240.4	150	174.2	

3.5 Purkutyö Espoon Länsituulentiellä

Espoon Tapiolassa sijaitsevan purkutyömaan tärinäarvoja mitattiin kahdesta eri talosta. Molemmat talot ovat kallioperusteisia ja betonirakenteisia. Tärinämittarit kiinnitettiin porrashuoneeseen kolmeen eri kerrokseen samaan linjaan teipillä lattiaan kiinni. Maaperän värähtelyä ei pystytty mittaamaan piha-alueen ollessa kivetettyä.

Länsituulentie 6 (kuva 4) on kahdeksankerroksinen ja Länsituulentie 8 (kuva 5) kymmenenkerroksinen. Molemmat rakennukset ovat asuinkerrostaloja, joiden katutasossa on liiketiloja. Laskennallisesti Länsituulentie 6:n ominaistajuus on noin 2 Hz ja Länsituulentie 8:n noin 1.5 Hz. Etäisyyttä purkutyöhön oli 10-60 metriä.



Kuva 4. Länsituulentie 6.



Kuva 5. Länsituulentie 8.

Tärinämittaukset suoritettiin Instantelin Minimatella Histogram Combo -asetuksella. Asetus tekee päivittäisistä tärinäarvoista pylväikköä ja asetetun trigger-arvon ylittävistä tapahtumista kuvaajat. Trigger-arvoksi valittiin 0,5 mm/s, joka ei ylittynyt muualla kuin Länsituulentie 6:n ensimmäisessä kerroksessa. Kuvaajista päätellen trigger-arvon ylittäneet tulokset eivät todennäköisesti ole purkutyön aiheuttamia, joten tarkastelu tehtiin vain histogrammeihin perustuen. MiniMatella ei pysty hakemaan suurinta amplitudin arvoa. Näin ollen vertailussa on käytetty heilahdusnopeuden arvoja.

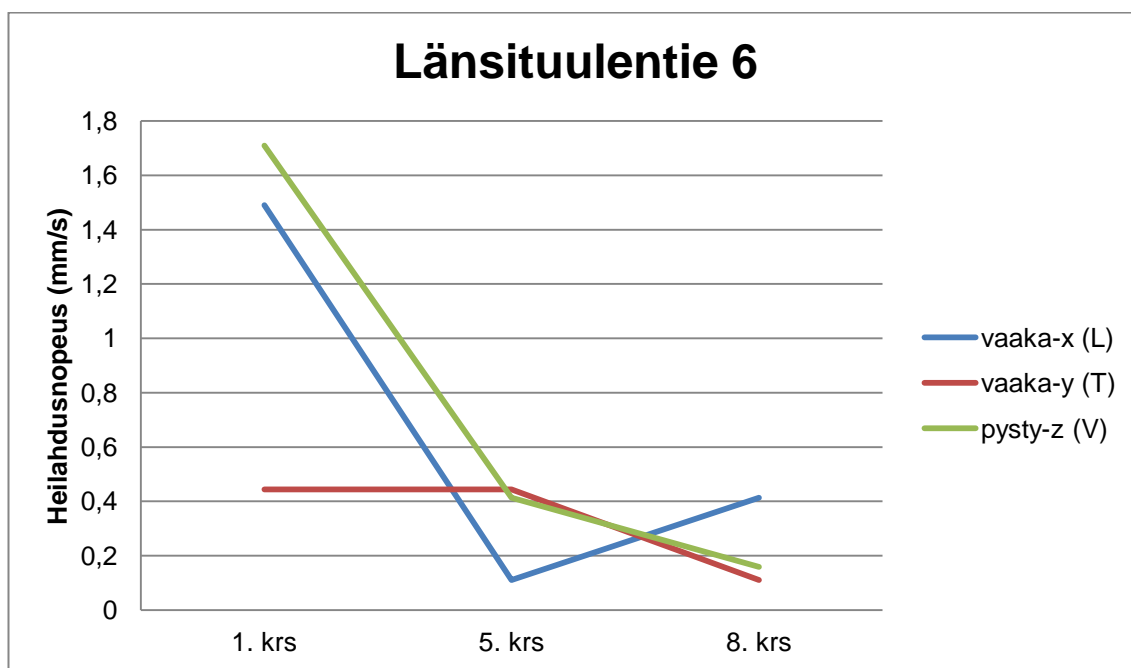
Purkutyön aiheuttaman värähtelyn taajuus rakenteissa oli molempien talojen ensimmäisissä kerroksissa korkeataajuisia. Ylöspäin mentäessä taajuus aleni ja lähestyi talojen ominaistajuuutta sitä kuitenkaan saavuttamatta. Lähimmäksi ominaistajuuutta päästiin Länsituulentie 6:ssa kahdeksannessa kerroksessa y-suuntaisella vaaka-akselilla (6,6 Hz).

Länsituulentie 6:ssa tärinäarvot vaimenivat huomattavasti. Pystyakselilla vaimennus oli tasaista, mutta vaaka-akseleilla vaimennuksissa oli eroavaisuuksia. Y-suuntaisen vaakakomponentin arvot pysyivät samassa ensimmäisessä ja viidennessä kerroksessa ja

vaimeni huomattavasti kahdeksannessa kerroksessa. X-suuntaisen vaakakomponentin suurin vaimennus taas oli viidennessä eli keskimmaisessä kerroksessa. Viidennen kerroksen arvo oli vain 7,45 % ensimmäisen kerroksen arvosta.

Länsituulentie 8:ssa y-suuntainen vaakakomponentti vaimeni suurimmillaan 66,6 prosenttiin ensimmäisen kerroksen arvosta kuudennessa kerroksessa. Ylimmässä kerroksessa tulos myöskin vaimeni. X-suuntainen vaakakomponentti ja pystykomponentti taas voimistuivat huomattavasti keskimmaisessä kerroksessa. Enimmillään kasvua oli x-suuntaisella vaaka-akselilla (166,4 %). Ylimmässä kerroksessa x-suuntaisen vaakakomponentin ja pystykomponentin arvot vastasivat ensimmäisen kerroksen suuruusluokkia. Rakennus on oletettavasti värähdellyt näillä akseleilla jollakin toisen ominaisuuden kerrannaisella.

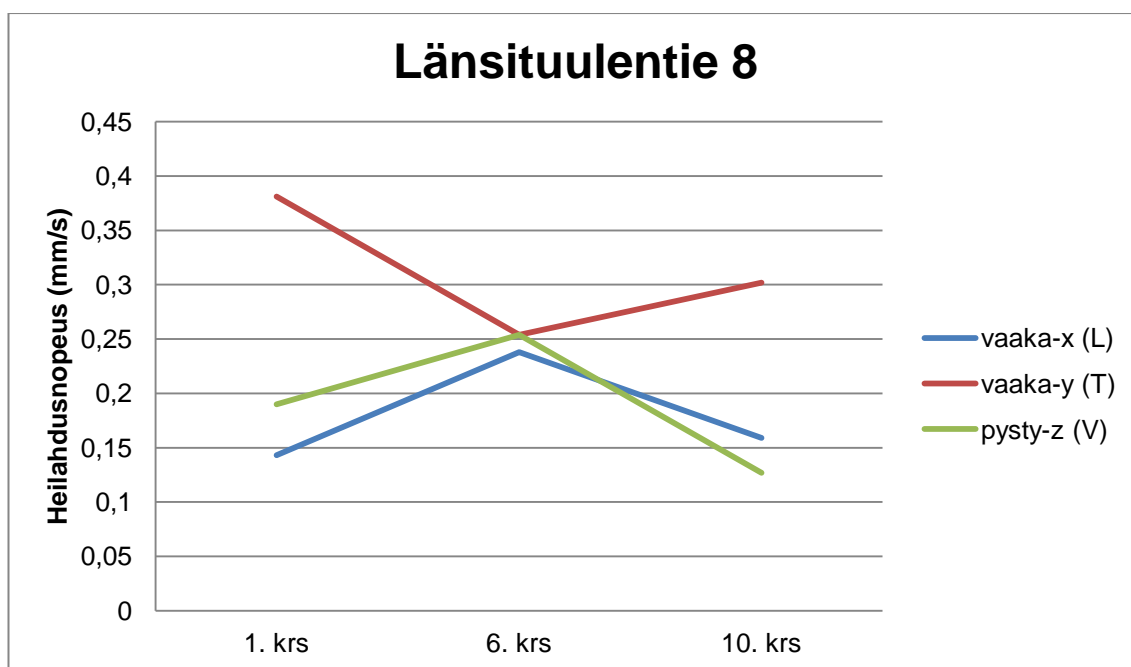
Kuviossa 13 ja taulukossa 5 on esitetty histogrammien suurimmat arvot akseleittain Länsituulentie 6:n osalta. Länsituulentien 8:n osalta vastaavat tulokset on esitetty kuviossa 14 ja taulukossa 6. Käytetyt histogrammikuvaajat on esitetty liitteessä 4.



Kuvio 13. Länsituulentie 6. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).

Taulukko 5. Länsituulentie 6. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).

Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s)	vaaka-x (L)	vaaka-y (T)	pysty-z (V)	taajuus (Hz)
1.krs	1.49	0.444	1.71	>100, >100, >100
5.krs	0.111	0.444	0.413	34, >100, >100
8.krs	0.413	0.111	0.159	34, 6.6, 51
Suurin muutos (%)	7.45	25.00	9.30	



Kuvio 14. Länsituulentie 8. Suurimmat mitatut heilahdusnopeuden arvot (mm/s).

Taulukko 6. Länsituulentie 8. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).

Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s)	vaaka-x (L)	vaaka-y (T)	pysty-z (V)	taajuus (Hz)
1.krs	0.143	0.381	0.190	>100, >100, >100
6.krs	0.238	0.254	0.254	>100, >100, >100
10.krs	0.159	0.302	0.127	>100, 85, 13
Suurin muutos (%)	166.4	66.6	133.7	

3.6 Louhintatyö Rauman Satamassa

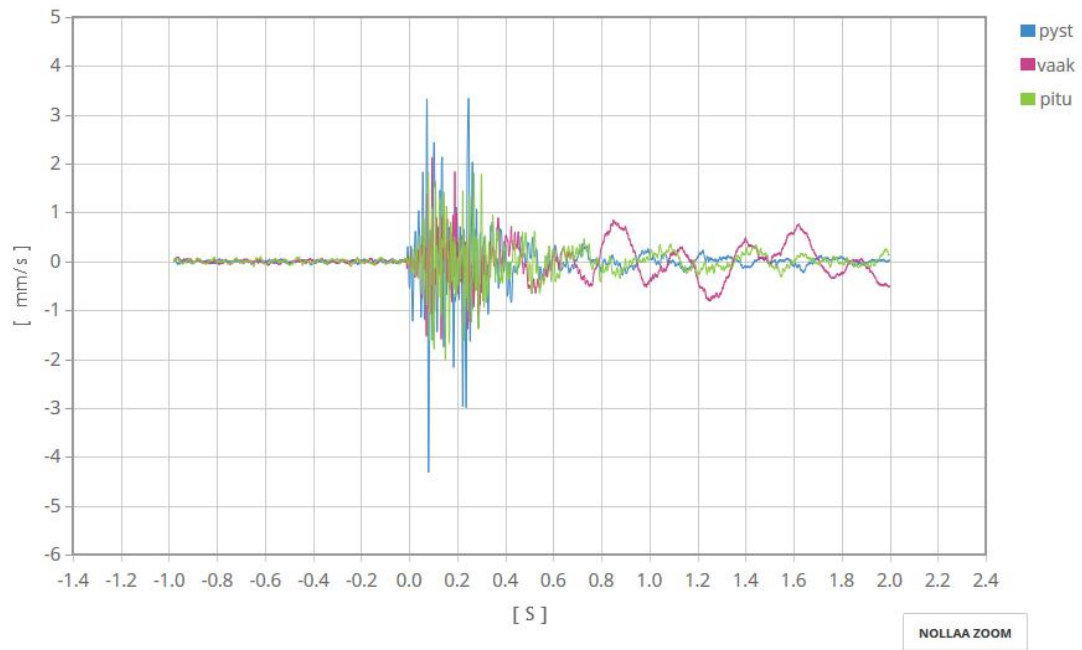
Rauman Satama-alueen laajennushankkeen louhintatyömaan vieressä sijaitsee viljasii-
loja. Rakennus on massiivinen, betonirakenteinen ja kallionvaraisesti perustettu (kuva
6). Korkeutta siiloilla on n. 80 metriä ja louhintaa suoritettiin lähimmillään n. 30 metrin
etäisyydellä. Tärinämittarit kiinnitettiin samaan kantavaan pilariin alimpaan, kahdeksan-
teen ja 17. kerrokseen. Laskennallisesti rakennuksen ominaistaajuus olisi n. 0,5 Hz.
Tuloksia analysoitiin sekä heilahdusnopeuden että amplitudin osalta.

Kuva 6. Viljasii-
lot.

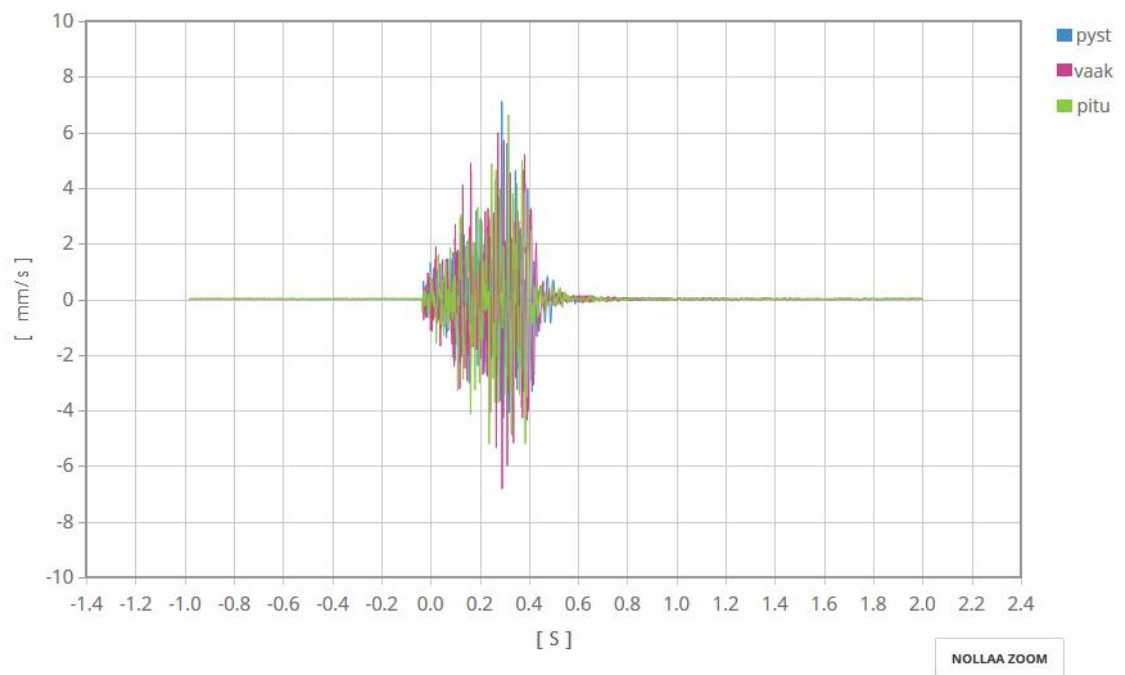
Heilahdusnopeuden suhteen tarkasteltaessa värinä vaimeni huomattavasti molemmilla vaakakomponenteilla. Pienimmillään heilahdusnopeuden arvo oli ylimmässä mittauspisteessä n. 32 % alimman mittauspisteen arvosta. Pystykomponentillakin värinä vaimeni ylöspäin mentäessä, joskin vaimennus oli maltillisempaa, noin 70 % alimman kerroksen arvosta.

Amplitudin suhteen tarkasteltaessa tuloksissa oli vähemmän johdonmukaisuutta. X-suuntaisella vaaka-akselilla suurin amplitudin arvo pieneni keskimmaisessa kerroksessa, mutta voimistui hiukan ylimmässä. Y-suuntaisella vaaka-akselilla amplitudin arvot vaimenivat tasaisesti. Tulos pieneni ylimmässä kerroksessa noin puoleen ensimmäisen kerroksen arvosta. Sen sijaan pystysuuntaisella akselilla amplitudin arvo voimistui tasaisesti ja oli ylimmässä kerroksessa n. 130 % alimman kerroksen arvosta.

Taajuussisältö oli kaikissa kerroksissa huomattavasti rakennuksen ominaistajuutta korkeampaa. Suurimmat heilahdusnopeuden ja amplitudin arvot ylemmissä kerroksissa olivat toisinaan korkeampitaajuisesta tapahtumasta kuin alempien kerrosten suurimmat heilahdusnopeuden ja amplitudin arvot. Korkeampitaajuinen värinä tapahtuma saattoi siis välittyä voimakkaammin ylöspäin kuin matalampitaajuinen, jonka voimakkuus alimmassa kerroksessa oli suurempi. Korkeataajuinen louhintatärinä ylemmissä mittauspisteissä myös jätti rakenteen värähtelemään matalammalla taajuudella (kuvio 15). Samaa ilmiötä ei alimmassa mittauspisteessä havaittu (kuvio 16).

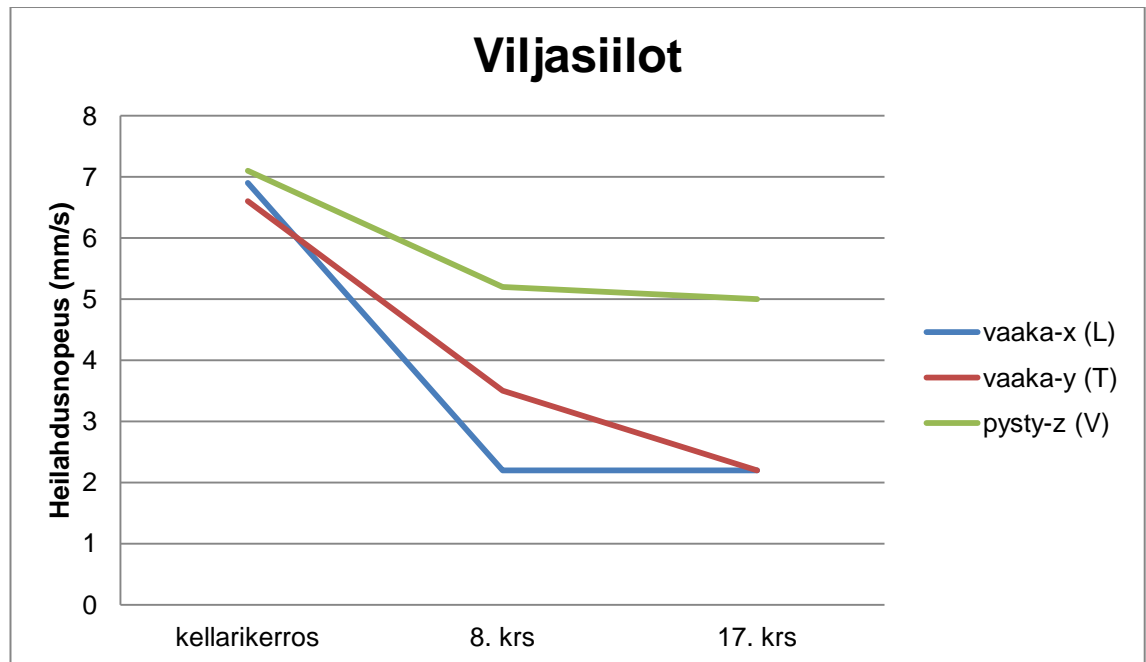


Kuvio 15. Rakenteen värähtely louhintatärinää matalammalla taajuudella.



Kuvio 16. Louhintatärinän tehokas vaimeneminen.

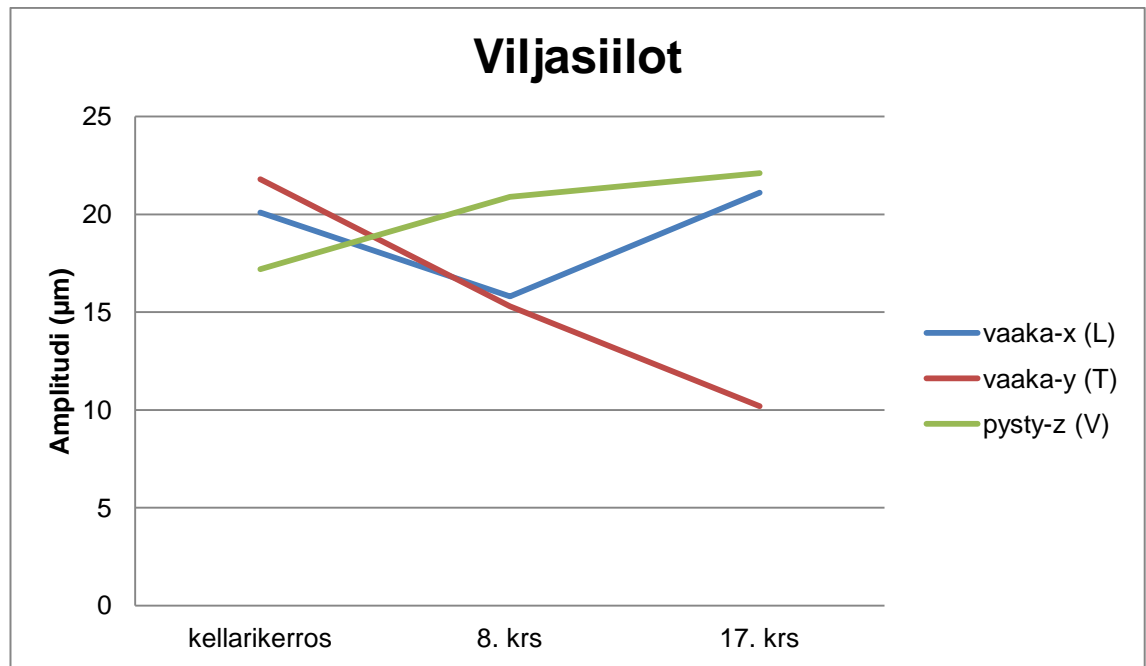
Kuviossa 17 ja taulukossa 7 on esitetty louhintatulosten suurimmat heilahdusnopeuksien arvot akseleittain joka mittauspisteestä. Kuviossa 18 ja taulukossa 8 on esitetty vastaavat arvot amplitudin suhteen. Liitteessä 5 on kaikkien tulosten kuvaajat kerroksittain heilahdusnopeuden suhteen.



Kuvio 17. Viljasiilot. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).

Taulukko 7. Viljasiilot. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).

Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s)	vaaka-x (L)	vaaka-y (T)	pysty-z (V)	taajuus (Hz)
kellarikerros	6.9	6.6	7.1	64, 55, 77
8.krs	2.2	3.5	5.2	71, 102, 45
17.krs	2.2	2.2	5.0	103, 46, 41
Suurin muutos (%)	31.88	33.33	70.40	



Kuvio 18. Viljasiilot. Mitatut suurimmat amplitudin arvot (µm).

Taulukko 8. Viljasiilot. Mitatut suurimmat amplitudin arvot (µm).

Mitatut suurimmat amplitudin arvot (µm)	vaaka-x (L)	vaaka-y (T)	pysty-z (V)	taajuus (Hz)
kellarikerros	20.1	21.8	17.2	64, 43, 93
8.krs	15.8	15.3	20.9	37, 82, 36
17.krs	21.1	10.2	22.1	103, 35, 46
Suurin muutos (%)	78.6/105.9	46.8	128.5	

3.7 Louhintatyö Pakkarinkatu 3a B:ssä

Turussa sijaitseva Pakkarinkatu 3a B on murskepohjalle perustettu teräsbetonirunkoinen kuusikerroksinen asuinkerrostalo (kuva 7). Rakennuksen läheisyydessä suoritettiin louhintatyötä. Talon laskennallinen ominaistaajuus on noin 2,5 Hz. Louhintatyötä suoritettiin lähimmillään n. 15 metrin etäisyydellä. Tärinämittarit asennettiin porrashuoneeseen samaan linjaan teipillä lattiaan kiinni alimpaan, kolmanteen ja kuudenteen kerrokseen. Mittaustuloksia tarkasteltiin heilahdusnopeuden ja amplitudin suhteen.



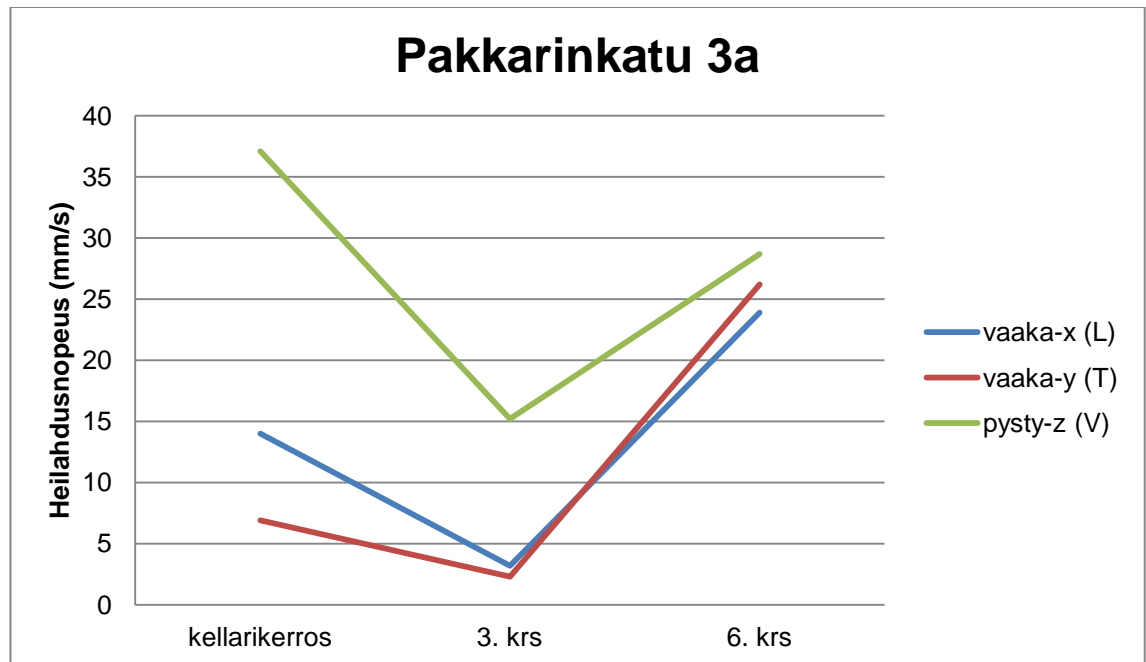
Kuva 7. Pakkarinkatu 3a B.

Tärinän kehitys rakenteissa oli sekä heilahdusnopeuden että amplitudin osalta samanaista. Molemmilla vaakakomponenteilla tärinä vaimeni voimakkaasti kolmannen kerroksen mittauspisteessä. Pienimmillään kolmannen kerroksen tulos oli 23 % ensimmäisen kerroksen arvosta heilahdusnopeuden suhteen. Pystyakselilla vaimennus oli kolmannessa kerroksessa vähäisempää. Tulos oli sekä heilahdusnopeuden että amplitudin suhteen tarkasteltaessa vähän yli 40 % ensimmäisen kerroksen arvosta.

Kuudennessa kerroksessa sen sijaan voimistuivat molemmat vaaka-akselit merkittävästi. X-suuntaisella akselilla voimistumista oli n. 170 % ja y-suuntaisella vaaka-akselilla päästiin lähes 380 % alimman kerroksen arvosta. Pystysuuntaisella akselilla kuudennen kerroksen tulos oli alimpaa kerrosta pienempi, mutta kuitenkin suurempi kuin keskimmaisessä kerroksessa.

Kuten myös viljasiiloissa oli taajuussisältö Pakkarinkadulla kaikissa kerroksissa huomattavasti rakennuksen ominaistajuutta korkeampaa. Suurimmat heilahdusnopeuden ja amplitudin arvot ylemmissä kerroksissa olivat toisinaan korkeampitaajuisesta tapahtumasta kuin alempien kerrosten suurimmat heilahdusnopeuden ja amplitudin arvot. Korkeampitaajuinen tärinätapahtuma saattoi siis välittyä voimakkaammin ylöspäin kuin matalampitaajuinen, jonka voimakkuus alimmassa kerroksessa oli suurempi.

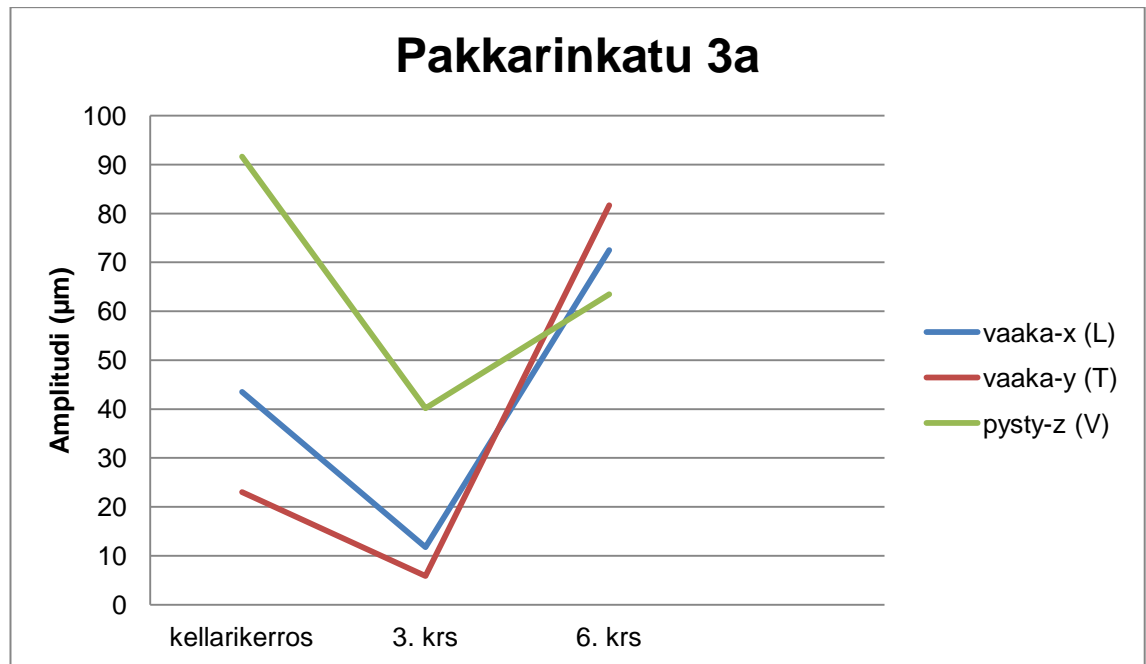
Kuviossa 19 ja taulukossa 9 on esitetty louhintatulosten suurimmat heilahdusnopeuksien arvot akseleittain joka mittauspisteestä. Kuviossa 20 ja taulukossa 10 on esitetty vastaavat arvot amplitudin suhteen. Liitteessä 6 on esitetty kaikkien tulosten kaaviot kerroksittain heilahdusnopeuden suhteen.



Kuvio 19. Pakkarinkatu 3a. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).

Taulukko 9. Pakkarinkatu 3a. Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s).

Mitatut suurimmat heilahdusnopeuden arvot (mm/s)	vaaka-x (L)	vaaka-y (T)	pysty-z (V)	taajuus (Hz)
kellarikerros	14	6.9	37.1	73, 41, 74
3.krs	3.2	2.3	15.2	123, 63, 62
6.krs	23.9	26.2	28.7	56, 66, 103
Suurin muutos (%)	22.9/170	33.3/379.7	41.0	



Kuvio 20. Pakkarinkatu 3a. Mitatut suurimmat amplitudin arvot (μm).

Taulukko 10. Pakkarinkatu 3a. Mitatut suurimmat amplitudin arvot (μm).

Mitatut suurimmat amplitudin arvot (μm)	vaaka-x (L)	vaaka-y (T)	pysty-z (V)	taajuus (Hz)
kellarikerros	43.5	23.0	91.6	73, 41, 74
3.krs	11.8	5.9	40.2	123, 63, 62
6.krs	72.5	81.7	63.5	56, 66, 103
Suurin muutos (%)	27.1/166.7	25.7/355.2	43.9	

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kaikkien tutkimuskohteiden laskennallinen ominaistajuus oli matalampi kuin työn aiheuttaman värähtelyn taajuus. Näin ollen varsinaista resonanssilannetta ei päässyt syntymään. Huomattavaa kuitenkin on, että kun tärinäkuormitus oli lähellä rakenteen ominaistajuutta, rupesi rakenne värähtelemään ominaistajuudellaan. Myös kun kuormitustajuus oli voimakkaasti ominaistajuutta suurempi, aleni tärinän taajuus ylöspäin mentäessä lähestyen rakenteen laskennallista ominaistajuutta. Jopa louhintatärinän havaittiin toimivan sellaisena herätteenä rakenteille, että se tietyissä olosuhteissa saattaa saada rakenteen värähtelemään huomattavasti louhintatärinää matalammalla taajuudella.

Taljan (2008) tasaisen voimistumisen kerroin 1,5 useampikerroksisille rakennuksille osoittautui tutkimustulosten valossa turhan matalaksi. Myöskin RIL:n mukainen oletus, että tärinä vaimenee rakenteissa kuormitustajuuden ollessa ominaistajuutta suurempi, voidaan mittaustulosten perusteella todeta ainakin osittain virheelliseksi. Paalutuskohteissa oli huomattavaa, jopa yli kaksinkertaista voimistumista todettavissa, kun rakenne alkoi värähdellä ominaistajuudellaan, vaikka itse kuormituslähteen taajuus oli korkeampaa.

Myös kohteissa, joissa kuormitustajuus oli selvästi rakennuksen ominaistajuutta korkeampi, oli havaittavissa voimistumista. Louhintatärinä voimistui Pakkarinkadulla erittäin voimakkaasti, lähes nelinkertaiseksi ylimmässä kerroksessa. Samassa kohteessa värähtely tosin vaimeni keskimmaisessa kerroksessa huomattavasti. Sen sijaan Länsituulentiellä korkeataajuinen purkutyön tärinä voimistui keskimmaisessa kerroksessa. Rakennus ei siis värähdellyt alimmalla ominaistajuudella, jonka mukaan resonanssitarastelu yleensä tehdään.

Tutkimuskohteiden monimuotoisuuden vuoksi ja niistä saatujen mittaustulosten perusteella voidaan todeta, että tärinän voimistumisen arvioiminen on vähintäänkin haastavaa. Mitään johdonmukaista linjausta tärinän voimistumisesta tai vaimenemisesta rakenteissa ei voida tehdä. Myöskään eri perustamistapojen vaikutusta värähtelyn voimistumiseen ei voida arvioida näin rajatuilla tutkimuskohteilla. Selvää on kuitenkin se, että perustamistavasta riippumatta on tärinän voimistuminen mahdollista.

Värähtely saattaa voimistua merkittävästi ylimmässä kerroksessa, mutta vaimentua keskimmaisessa. Toisaalta se saattaa myös käyttäytyä täysin päinvastaisesti eli vaimentua ylhäällä ja voimistua keskellä. Näennäisesti samanlaisissa rakennuksissa tärinä saattaa myös kehittyä hyvinkin toisistaan poikkeavasti. Lisäksi lähtökohtaisesti riskiryhmän ulkopuolella olevissa kohteissa, joissa tärinän oletetaan nykyohjeistuksen mukaan voimakkaastikin vaimenevan, saattaa se vaimenemisen sijaan voimistua yllättävän paljon. Ainoa luotettava tapa tärinäarvojen selvittämiseen rakenteissa on mittaaminen.

Mittaustuloksiin nojaten olisikin perusteltua mitata tärinän arvoja perustusten lisäksi rakennuksen sekä keskimmaisesta että ylimmäisestä kerroksesta tärinää aiheuttavan työn ajan. Erityisen perusteltua tämä olisi paalutustyömaiden läheisyydessä, jossa värähtelyn voimistuminen oli tasaisempaa ja johdonmukaisempaa. Louhinta- ja purkutyön tärinän voimistuminen osoittautui sen sijaan varsin sattumanvaraiseksi.

LÄHTEET

Hämeri, K.; Jokinen, R.; Ketolainen, P.; Sallinen, M. & Sloan, M. 2010. Empiria 3, Aallot, 1.– 2. painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava.

Lehto, H. & Luoma, T. 1994. Fysiikka 2: Fysiikka yhteiskunnassa. Aaltoliike, 1.–3. painos. Helsinki: Kirjayhtymä Oy.

RIL 253-2010. 2010. Rakentamisen aiheuttamat tärinät. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

SMS-Tsunami-Warning.com. Earthquakes: seismic waves. Viitattu 22.2.2018 <http://www.sms-tsunami-warning.com/theme/tsunami/img/love-and-rayleigh-waves.jpg>.

Talja, A. 2004. Suositus liikennetärinän mittaamisesta ja luokituksesta. Espoo: VTT tiedotteita 2278.

Talja, A. 2011. Ohjeita liikennetärinän arviointiin. Espoo: VTT tiedotteita 2569.

Vuolio, R. & Halonen, T. 2012. Räjätystyöt. Suomen Rakennusmedia Oy. Helsinki: Tammerprint Oy.



Event Report

Date/Time Vert at 08:35:52 March 23, 2018
 Trigger Source Geo: 0.300 mm/s
 Range Geo: 31.7 mm/s
 Record Time 4.0 sec at 1024 sps
 Notes

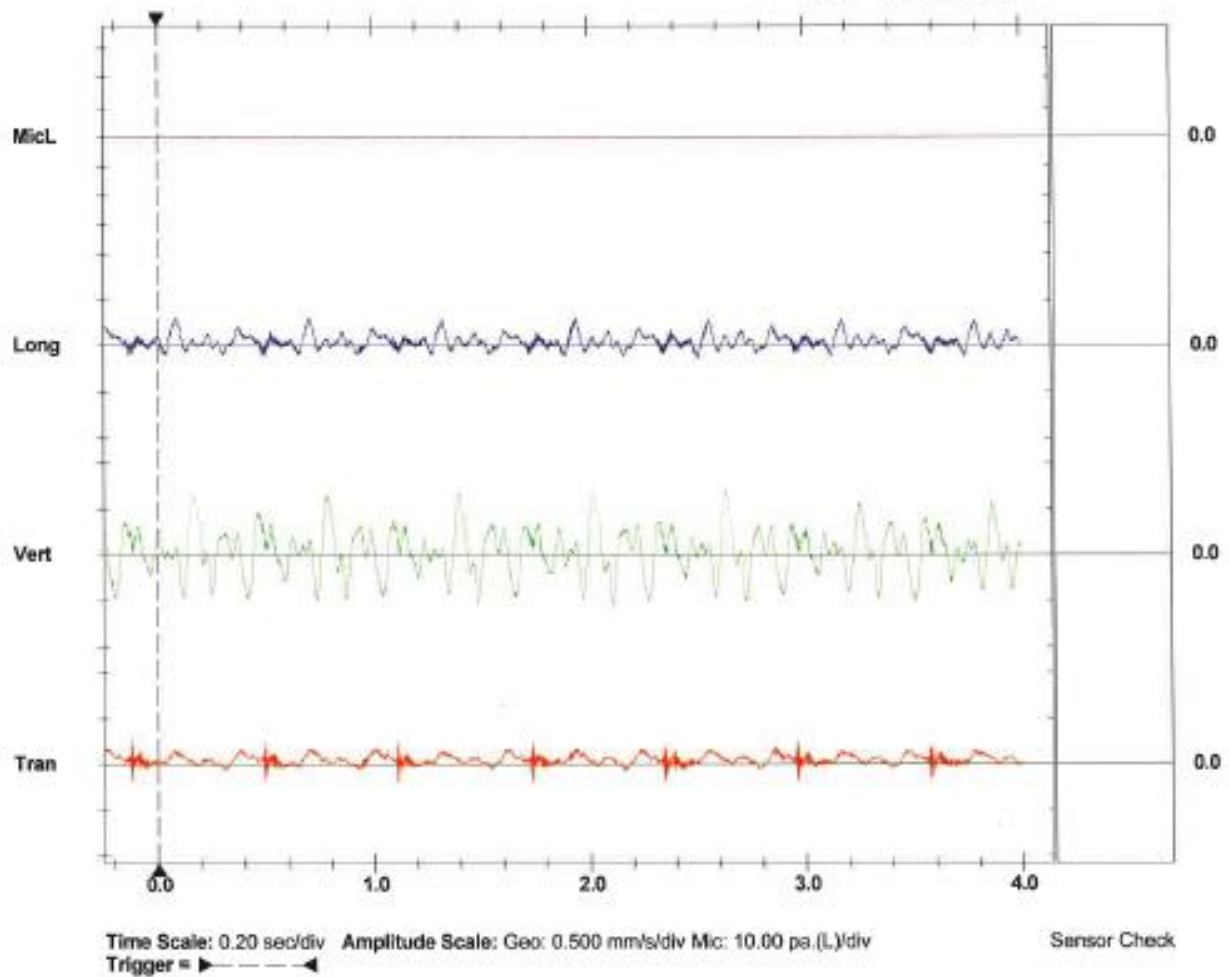
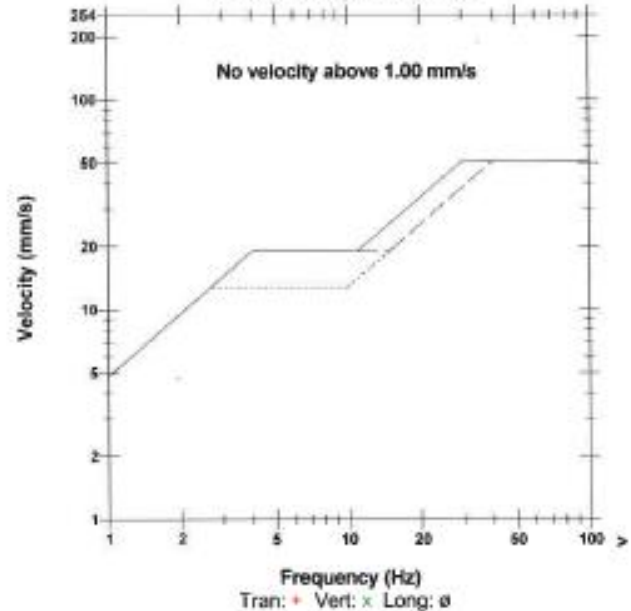
Serial Number BE8412 V 10.60-8.17 MiniMate Plus
 Battery Level 6.2 Volts
 Unit Calibration August 22, 2013 by Instantel
 File Name J412HC71.7S0

Microphone Linear Weighting
 PSPL <0.500 pa.(L)
 ZC Freq >100 Hz
 Channel Test Disabled

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.286	0.683	0.317	mm/s
ZC Freq	>100	8.0	7.4	Hz
Time (Rel. to Trig)	-0.123	2.635	0.085	sec
Peak Acceleration	0.0315	0.0116	0.0116	g
Peak Displacement	0.00686	0.0141	0.00705	mm
Sensor Check	Disabled	Disabled	Disabled	
Frequency	***	***	***	Hz
Overswing Ratio	***	***	***	

Peak Vector Sum 0.697 mm/s at 2.635 sec
 N/A: Not Applicable

USBM RI8507 And OSMRE



TIEDOT

Aika

Projekti

Mittauspiste

2018-03-23 08:39:51

1krs

pyst (V12V)

Loggeri

Standardi

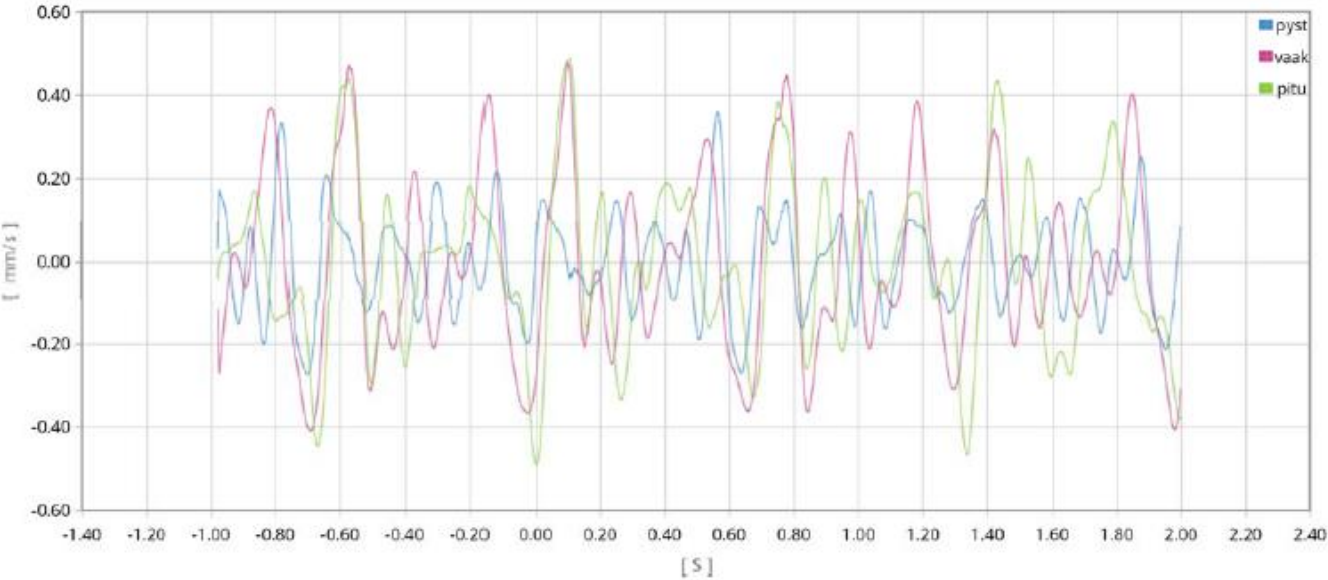
3741 - 8390

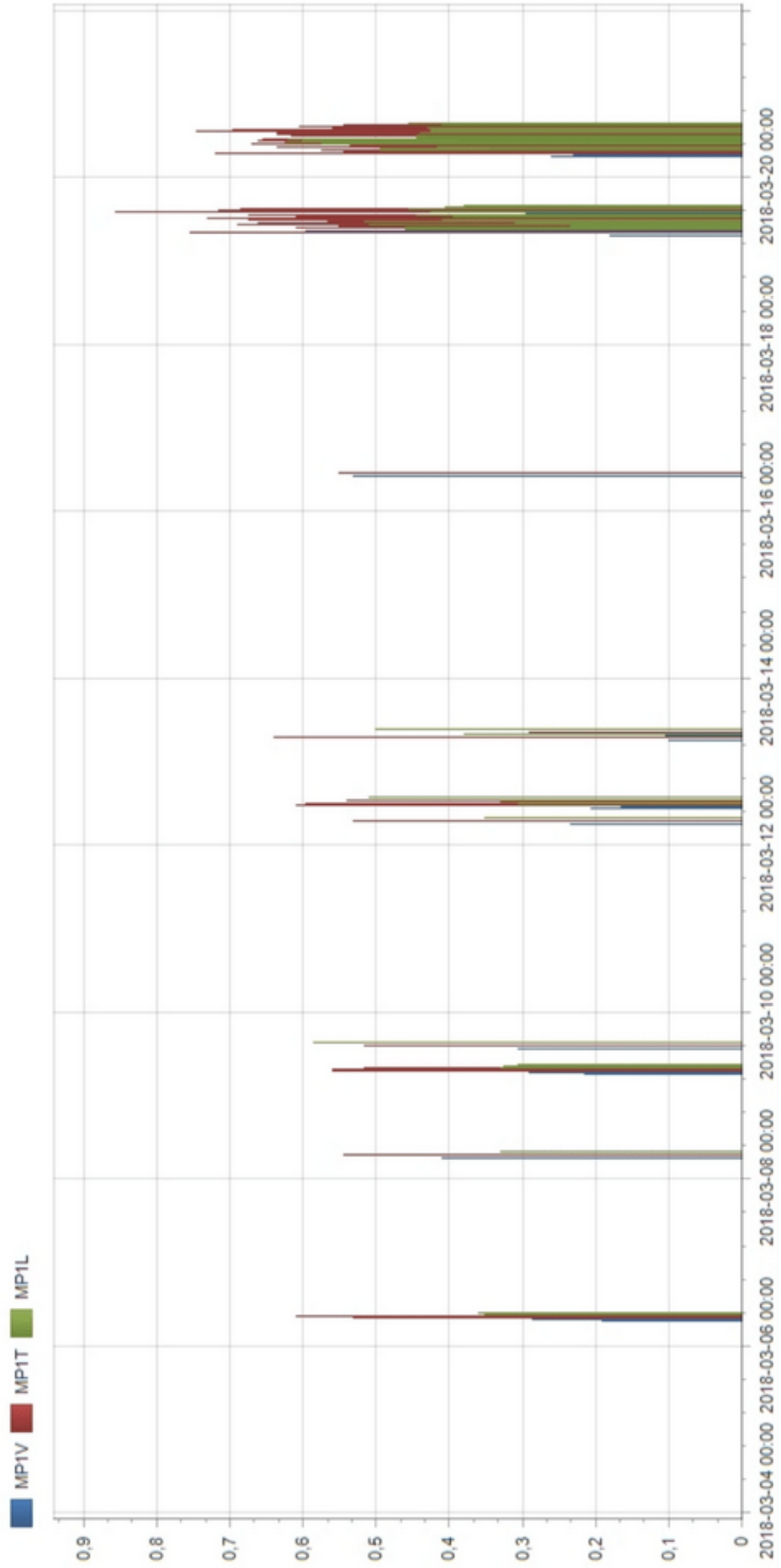
SS025211 Schakt

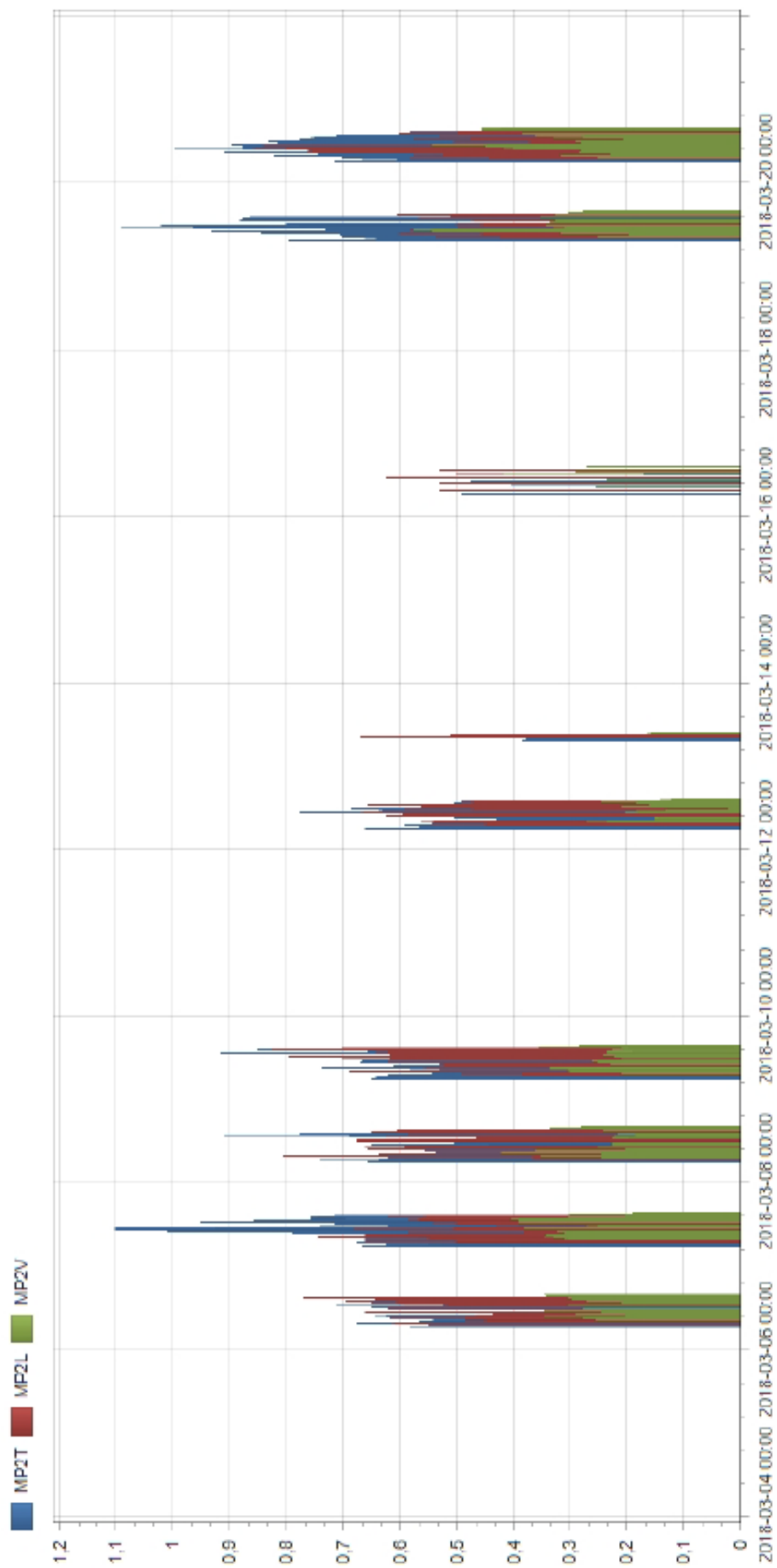
NIMI	OSOITE	TULOS	M/S2	HZ	UM	OHJEARVO	ETÄISYYS	OSA (%)	RÄJ.NRO
MP1V	Asentajankatu 2	0.4 mm/s	0.1 m/s²	7.9 Hz	8.3 um				
MP1L	Asentajankatu 2	0.5 mm/s	0.1 m/s²	4.6 Hz	16.2 um				
MP1T	Asentajankatu 2	0.5 mm/s	0.0 m/s²	3.3 Hz	19.0 um				

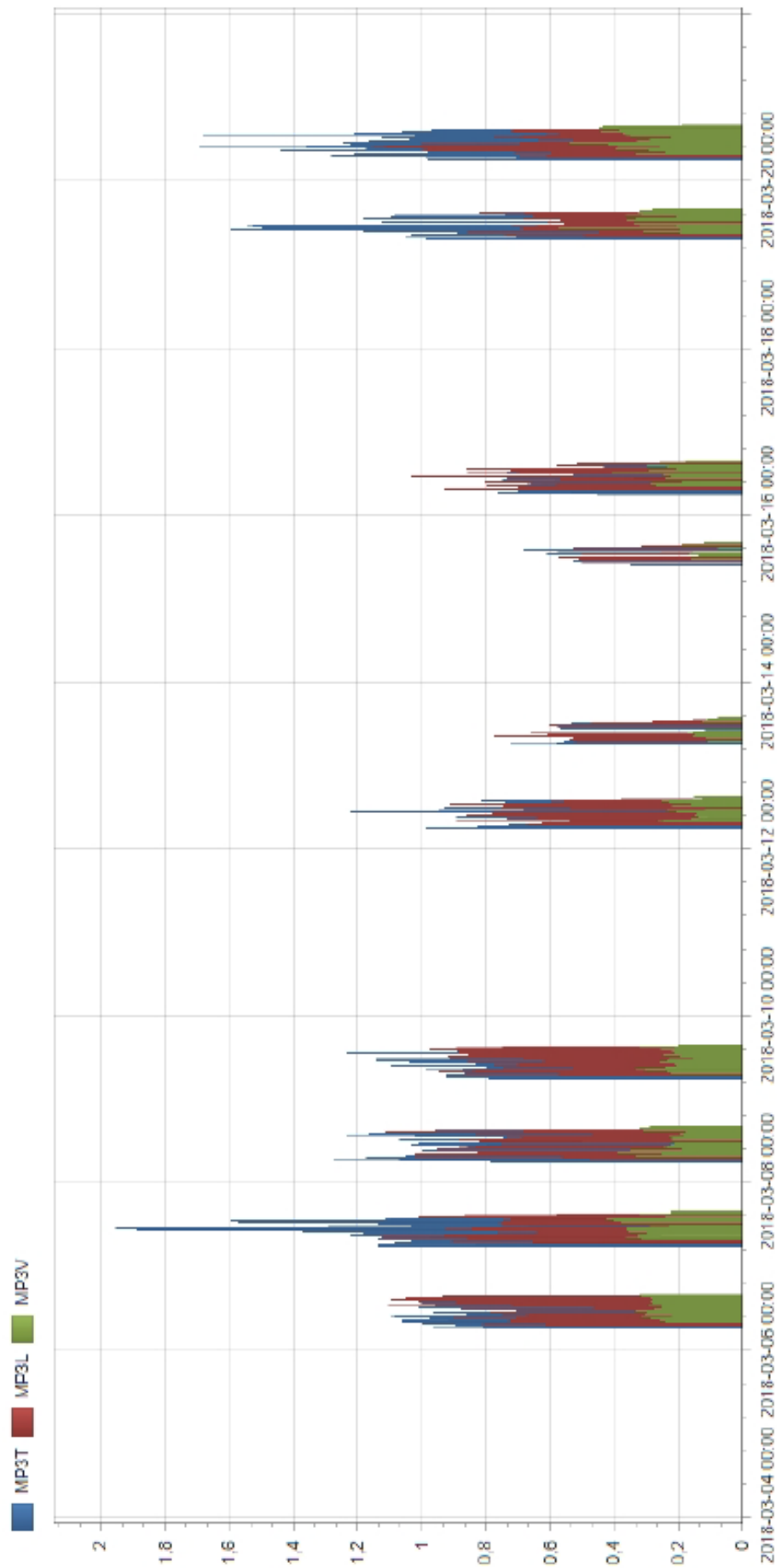
HAKUEHDOT

MITEN VOIN ZOOMATA?











Event Report

Date/Time Vert at 08:50:11 April 26, 2018
 Trigger Source Geo: 0.400 mm/s
 Range Geo: 31.7 mm/s
 Record Time 2.0 sec at 1024 sps
 Notes

Serial Number BE8412 V 10.60-8.17 MiniMate Plus
 Battery Level 6.8 Volts
 Unit Calibration August 22, 2013 by Instantel
 File Name J412HDY0.JN0
 Post Event Notes

Vahateikkilantie 56

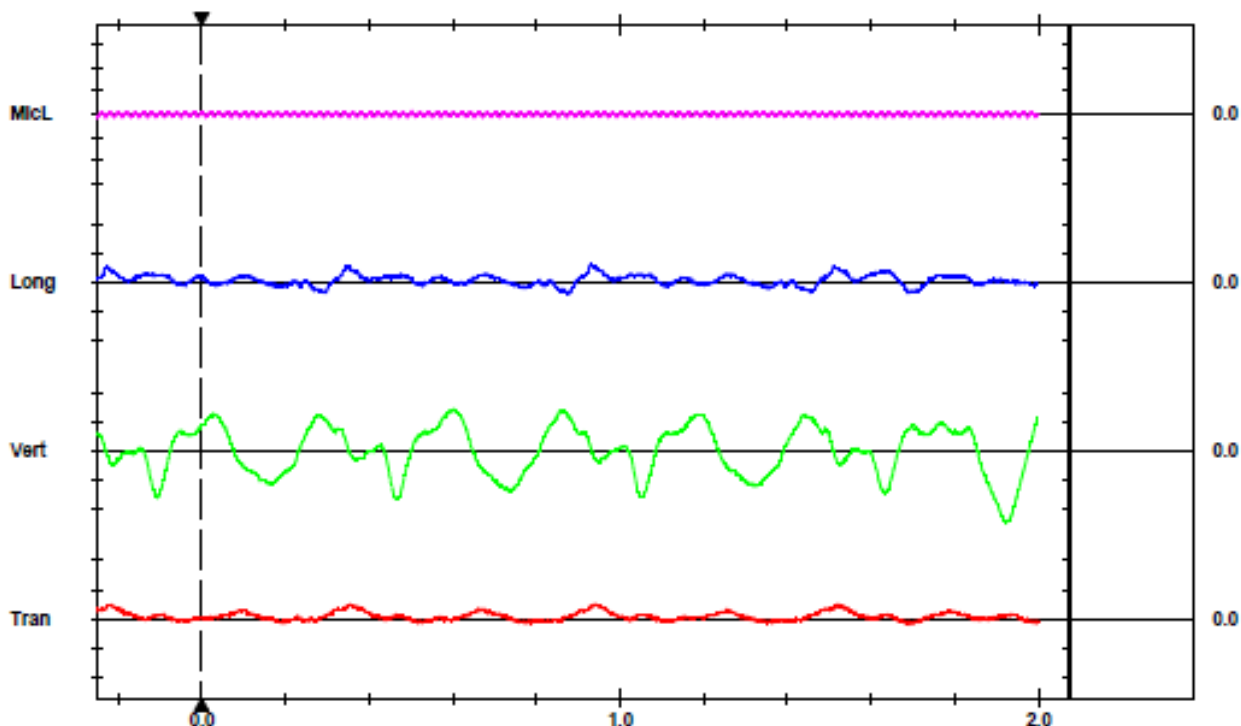
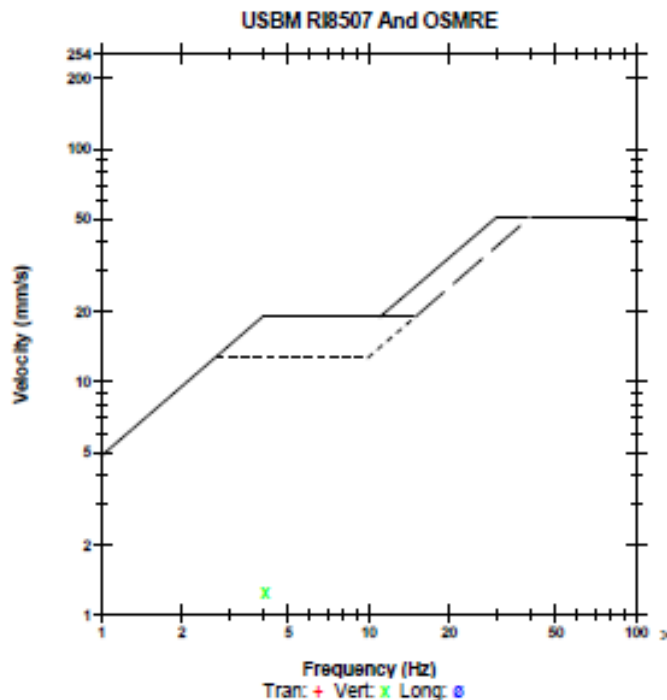
Päälustusto suurin tulos trigger varma päälustus 1. krs

Microphone Linear Weighting
 PSPL 1.50 pa.(L) at -0.249 sec
 ZC Freq N/A
 Channel Test Disabled

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.254	1.24	0.317	mm/s
ZC Freq	N/A	4.1	2.6	Hz
Time (Rel. to Trig)	-0.214	1.922	0.930	sec
Peak Acceleration	0.00663	0.00829	0.00829	g
Peak Displacement	0.00963	0.0427	0.0121	mm
Sensor Check	Disabled	Disabled	Disabled	
Frequency	---	---	---	Hz
Overswing Ratio	---	---	---	

Peak Vector Sum 1.24 mm/s at 1.922 sec

N/A: Not Applicable



Time Scale: 0.20 sec/div Amplitude Scale: Geo: 0.500 mm/s/div Mic: 10.00 pa.(L)/div
 Trigger =

Sensor Check



Event Report

Date/Time Vert at 06:48:12 April 25, 2018
 Trigger Source Geo: 0.400 mm/s
 Range Geo: 31.7 mm/s
 Record Time 2.0 sec at 1024 sps
 Notes

Serial Number BE12375 V 10.40-8.17 MiniMate Plus
 Battery Level 6.8 Volts
 Unit Calibration June 12, 2007 by Instantel Inc.
 File Name N375HDW0.A00
 Post Event Notes

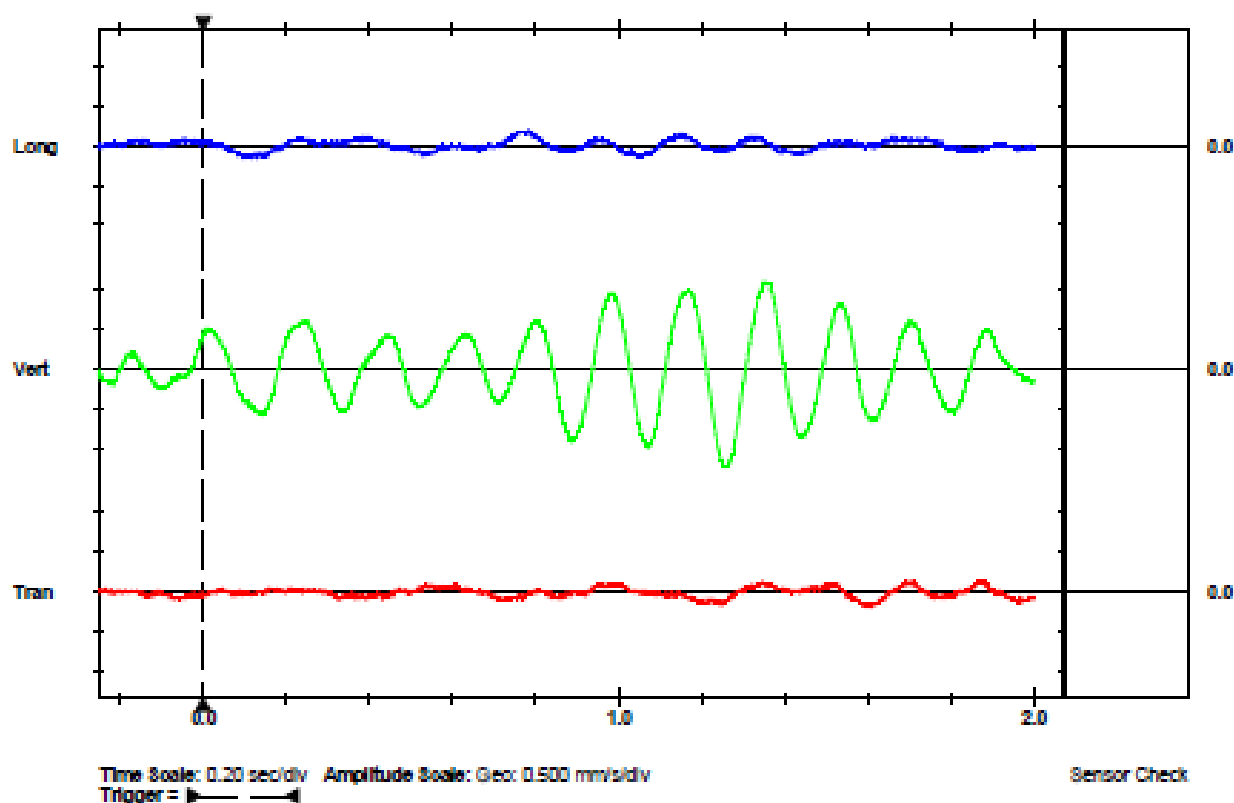
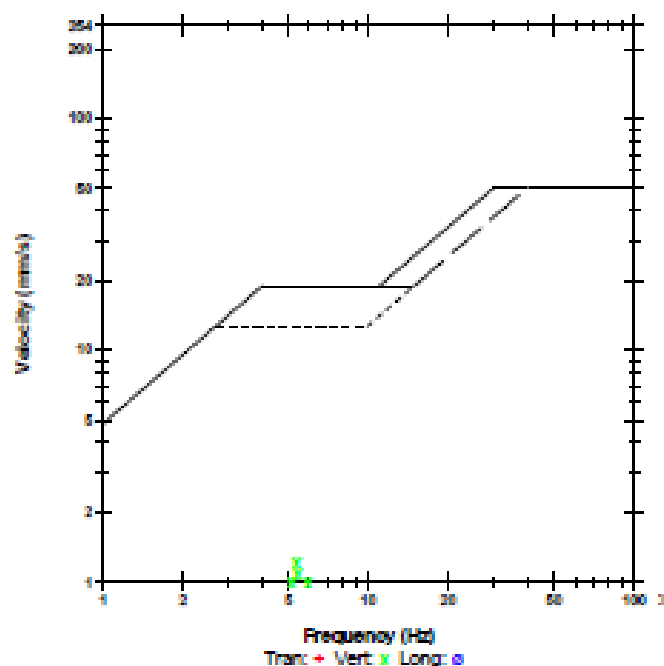
Vahaväikidilantle 68

Pärlutustyo suurin tuulos trigger vanna pealutua 2. km

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.190	1.24	0.190	mm/s
ZC Freq	4.9	5.3	5.0	Hz
Time (Rel. to Trig)	1.598	1.257	0.774	sec
Peak Acceleration	0.00663	0.00829	0.00663	g
Peak Displacement	0.00657	0.0365	0.00694	mm
Sensor Check	Disabled	Disabled	Disabled	
Frequency	***	***	***	Hz
Overwing Ratio	***	***	***	

Peak Vector Sum 1.25 mm/s at 1.259 sec

USBM R18607 And OSMRE





Event Report

Date/Time Vert at 13:56:11 September 4, 1995
 Trigger Source Geo: 1.00 mm/s
 Range Geo: 254 mm/s
 Record Time 2.0 sec at 1024 sps
 Notes

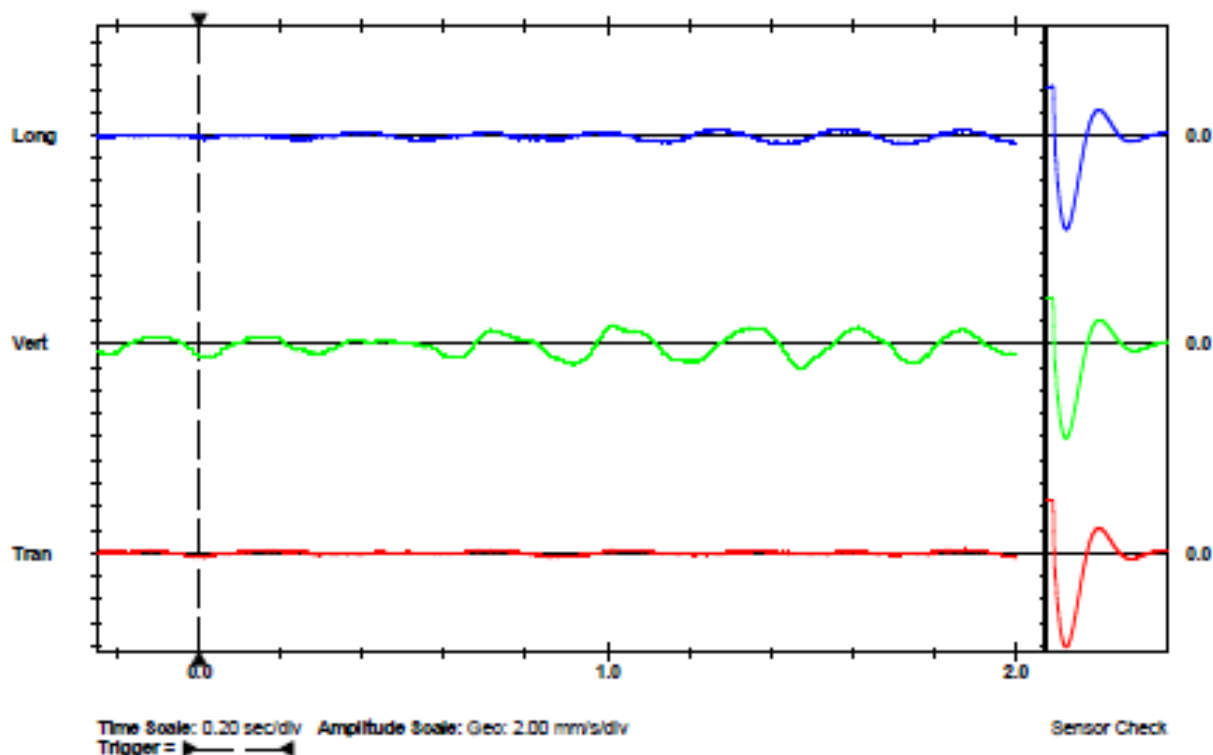
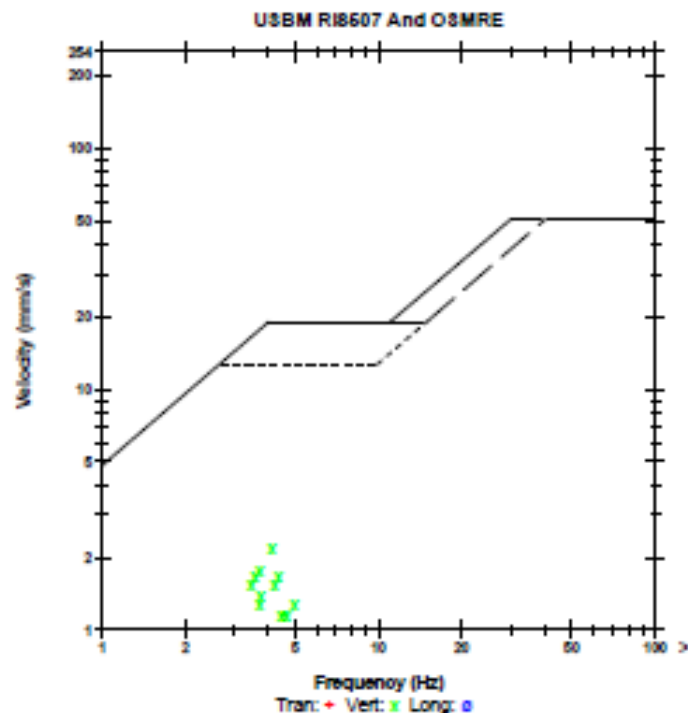
Serial Number BE7631 V 10.60-8.17 MiniMate Plus
 Battery Level 6.7 Volts
 Unit Calibration August 2, 2013 by InstanTel
 File Name I6315KJL.DND
 Post Event Notes

Vahaelikiditartie 58

Peelutustyo suurin tulos trigger 4. kn

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.381	2.16	0.762	mm/s
ZC Freq	7.4	4.1	3.4	Hz
Time (Rel. to Trig)	-0.013	1.469	1.409	sec
Peak Acceleration	0.0133	0.0265	0.0133	g
Peak Displacement	0.0120	0.0804	0.0370	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.4	7.4	7.6	Hz
Overwing Ratio	3.8	3.9	3.8	

Peak Vector Sum 2.22 mm/s at 1.469 sec





Event Report

Histogram Start Time 04:00:13 April 7, 2018
 Histogram Finish Time 23:00:00 April 7, 2018
 Number of Intervals 227.00 at 5 minutes
 Range Geo:31.7 mm/s
 Sample Rate 1024sps
 Notes
 MP1

Serial Number BE8413 V 8.12-8.0 MiniMate Plus
 Battery Level 6.8 Volts
 Unit Calibration July 24, 2002 by Instantel Inc.
 File Name J413HCYG.GD0

Post Event Notes

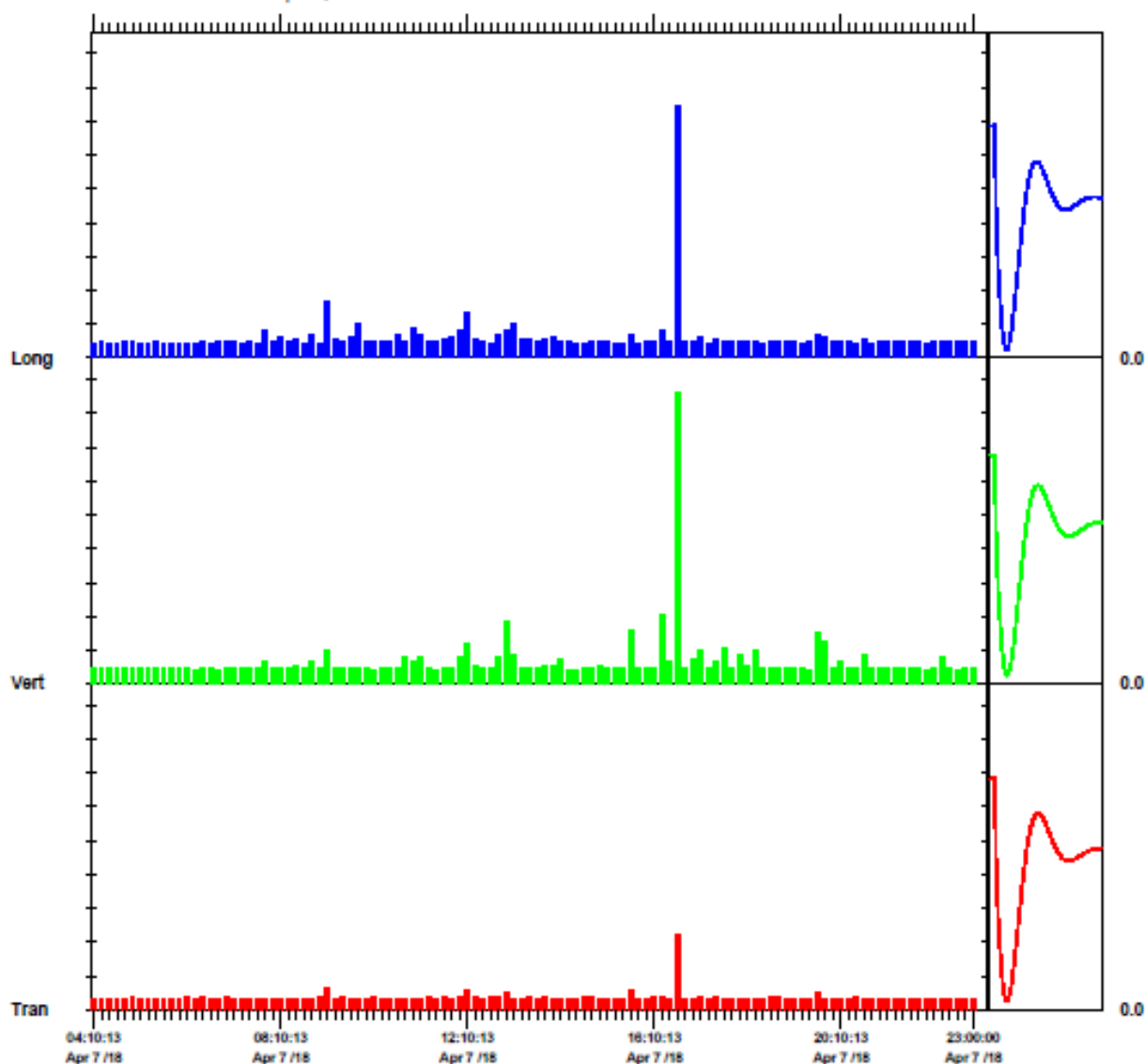
Oy Finnrock Ab

Purkutyo

Länsituulentie 6, 1. krs

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.444	1.71	1.49	mm/s
ZC Freq	>100	>100	>100	Hz
Date	Apr 7 /18	Apr 7 /18	Apr 7 /18	
Time	16:35:13	16:35:13	16:35:13	
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.5	7.5	7.7	Hz
Overswing Ratio	4.0	3.8	3.9	

Peak Vector Sum 2.05 mm/s on April 7, 2018 at 16:35:13





Event Report

Histogram Start Time 11:01:06 April 5, 2018
 Histogram Finish Time 23:00:00 April 5, 2018
 Number of Intervals 143.00 at 5 minutes
 Range Geo:31.7 mm/s
 Sample Rate 1024sps
 Notes
 MP2

Serial Number BE6806 V 8.12-8.0 MiniMate Plus
 Battery Level 6.7 Volts
 Unit Calibration October 6, 1999 by InstanTel Inc.
 File Name H806HCVA.LU0

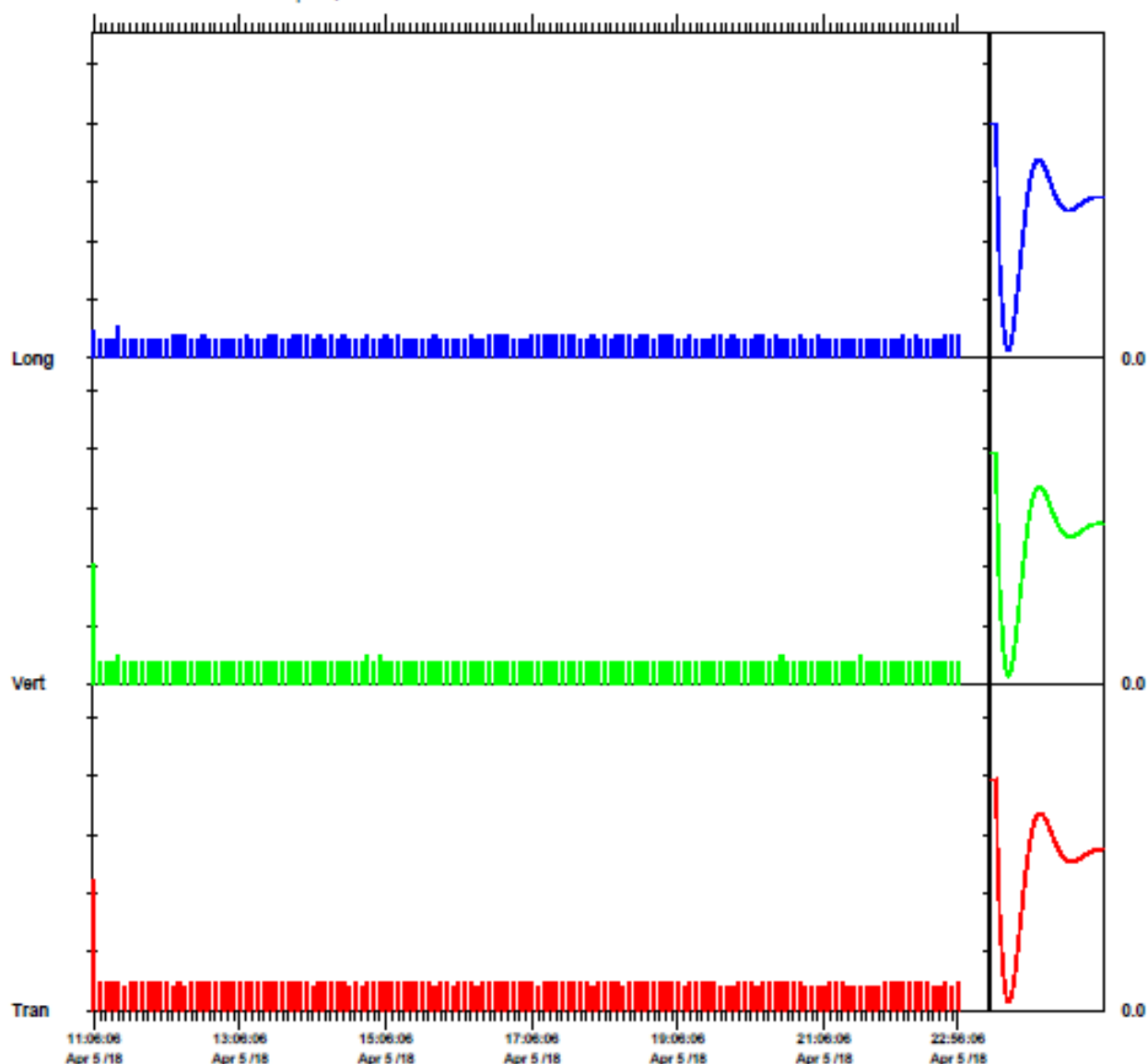
Post Event Notes

Oy Finnrock Ab

Purkutyo
 Länsituulentie 6, S. krs

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.444	0.413	0.111	mm/s
ZC Freq	>100	>100	34	Hz
Date	Apr 5 /18	Apr 5 /18	Apr 5 /18	
Time	11:06:06	11:06:06	11:26:06	
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.4	7.5	7.7	Hz
Overswing Ratio	3.9	3.8	3.7	

Peak Vector Sum 0.607 mm/s on April 5, 2018 at 11:06:06



Time Scale: 5 minutes /div Amplitude Scale: Geo: 0.200 mm/s/div

Sensor Check



Event Report

Histogram Start Time 04:00:14 April 6, 2018
 Histogram Finish Time 23:00:00 April 6, 2018
 Number of Intervals 227.00 at 5 minutes
 Range Geo:31.7 mm/s
 Sample Rate 1024sps
 Notes MP3

Serial Number BE12376 V 10.40-8.17 MiniMate Plus
 Battery Level 6.8 Volts
 Unit Calibration June 12, 2007 by Instantel Inc.
 File Name N376HCWL.SED

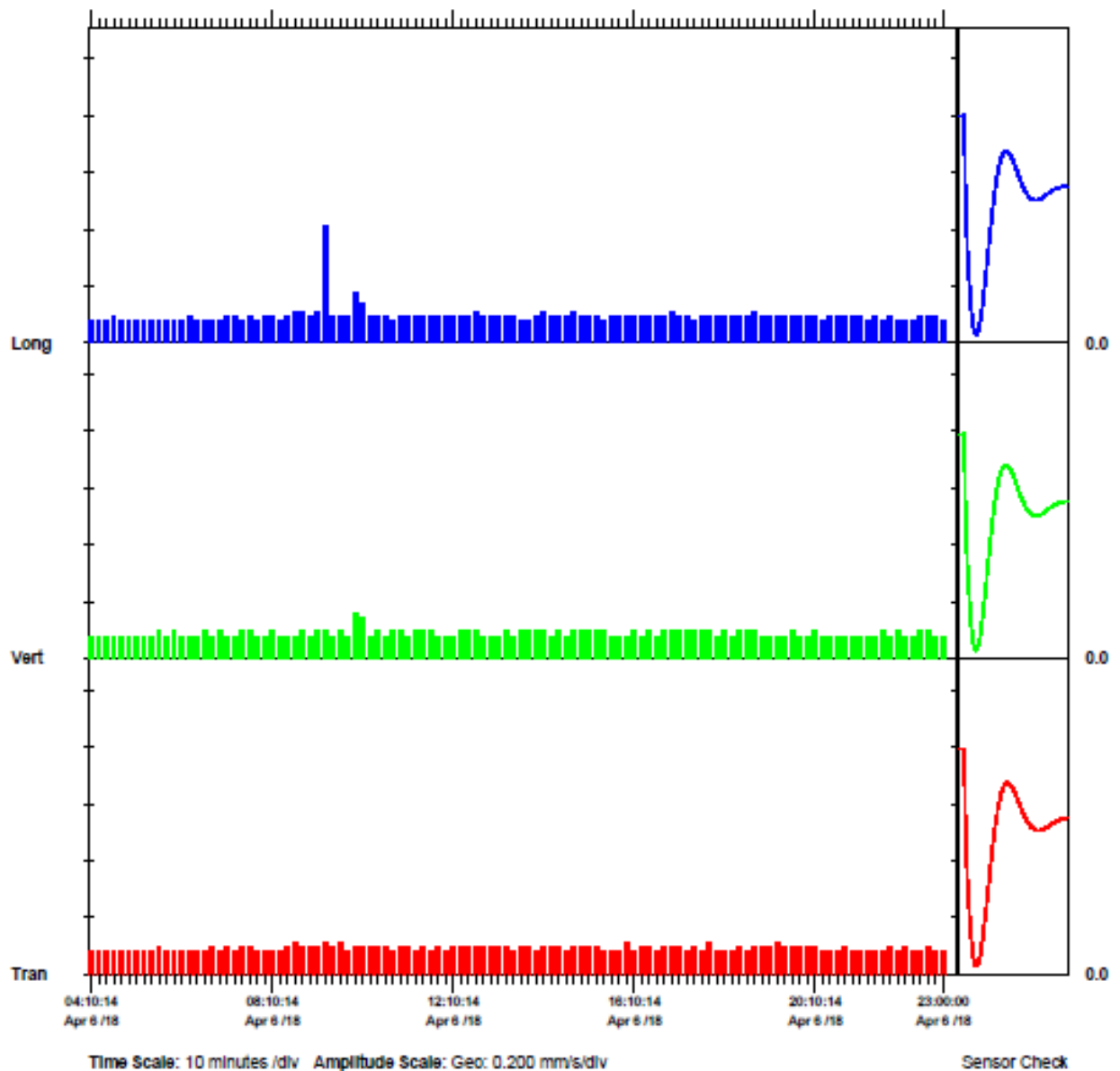
Post Event Notes

Oy Finnrock Ab

Purkutyo
 Länsituulentie 6. 8. krs

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.111	0.159	0.413	mm/s
ZC Freq	6.6	51	34	Hz
Date	Apr 6 /18	Apr 6 /18	Apr 6 /18	
Time	08:35:14	10:00:14	09:20:14	
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.3	7.5	7.4	Hz
Overwing Ratio	3.8	3.6	3.8	

Peak Vector Sum 0.414 mm/s on April 6, 2018 at 09:20:14



Printed: April 20, 2018 (V 10.50 - 10.50)

Format © 1995-2013 Xmark Corporation



Event Report

Histogram Start Time 04:00:13 April 9, 2018
 Histogram Finish Time 23:00:00 April 9, 2018
 Number of Intervals 227.00 at 5 minutes
 Range Geo:31.7 mm/s
 Sample Rate 1024sps
 Notes
 MP4

Serial Number BE14125 V 8.12-8.0 MiniMate Plus
 Battery Level 6.8 Volts
 Unit Calibration August 13, 2008 by InstanTel Inc.
 File Name P125HD25.SD0

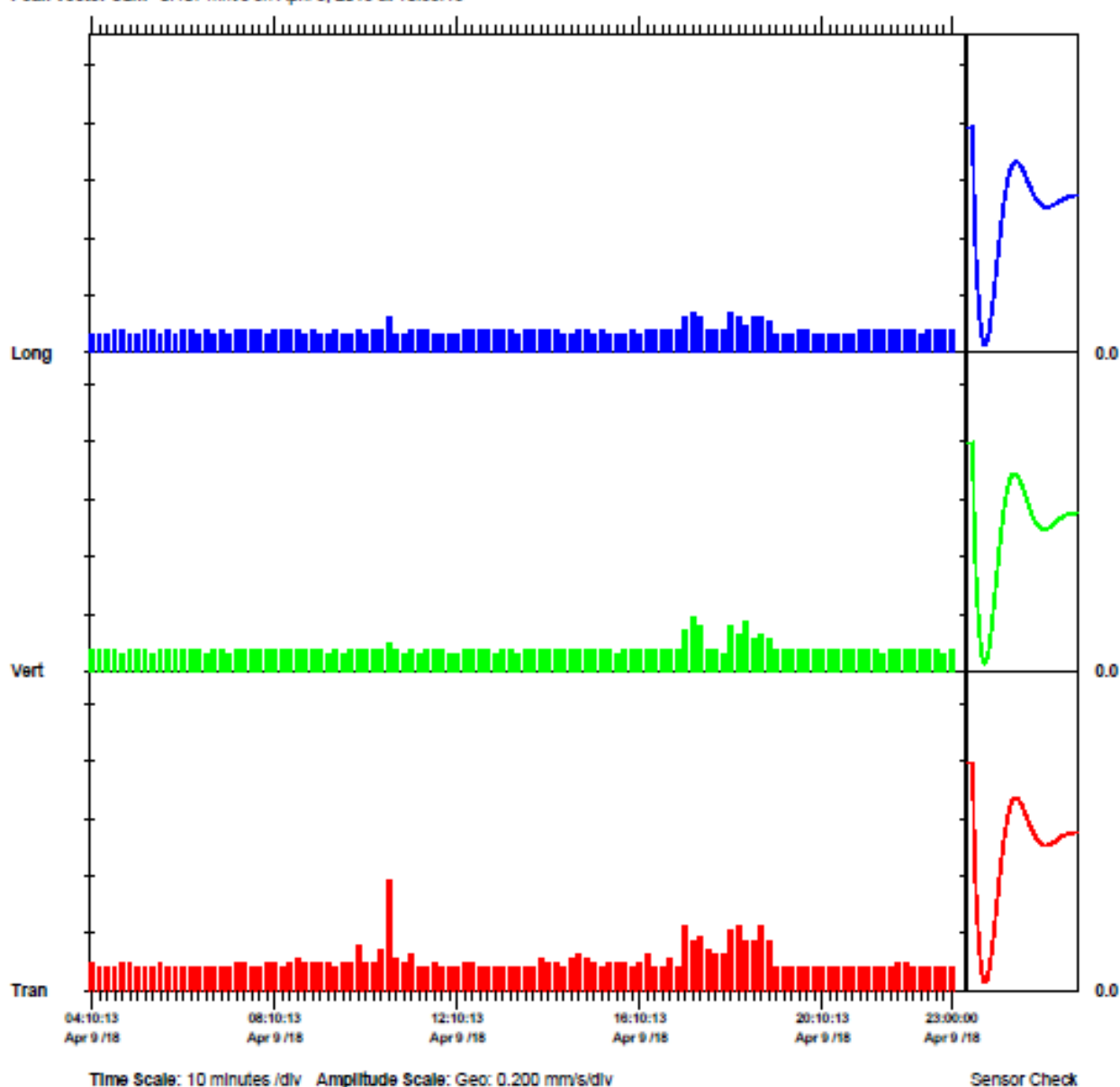
Post Event Notes

Oy Finnrock Ab

Purkutyo
 Länsisuuntie 8. 1. krs

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.381	0.190	0.143	mm/s
ZC Freq	>100	>100	>100	Hz
Date	Apr 9 /18	Apr 9 /18	Apr 9 /18	
Time	10:35:13	17:15:13	17:15:13	
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.4	7.6	7.3	Hz
Overswing Ratio	3.9	3.4	4.1	

Peak Vector Sum 0.407 mm/s on April 9, 2018 at 10:35:13



Printed: April 20, 2018 (V 10.60 - 10.60)

Format © 1995-2013 Xmark Corporation



Event Report

Histogram Start Time 11:28:20 April 5, 2018
 Histogram Finish Time 23:00:00 April 5, 2018
 Number of Intervals 138.00 at 5 minutes
 Range Geo:31.7 mm/s
 Sample Rate 1024sps
 Notes
 MPS

Serial Number BE8667 V 8.12-8.0 MiniMate Plus
 Battery Level 6.8 Volts
 Unit Calibration January 22, 2003 by Instantel Inc.
 File Name J667HCVB.V80

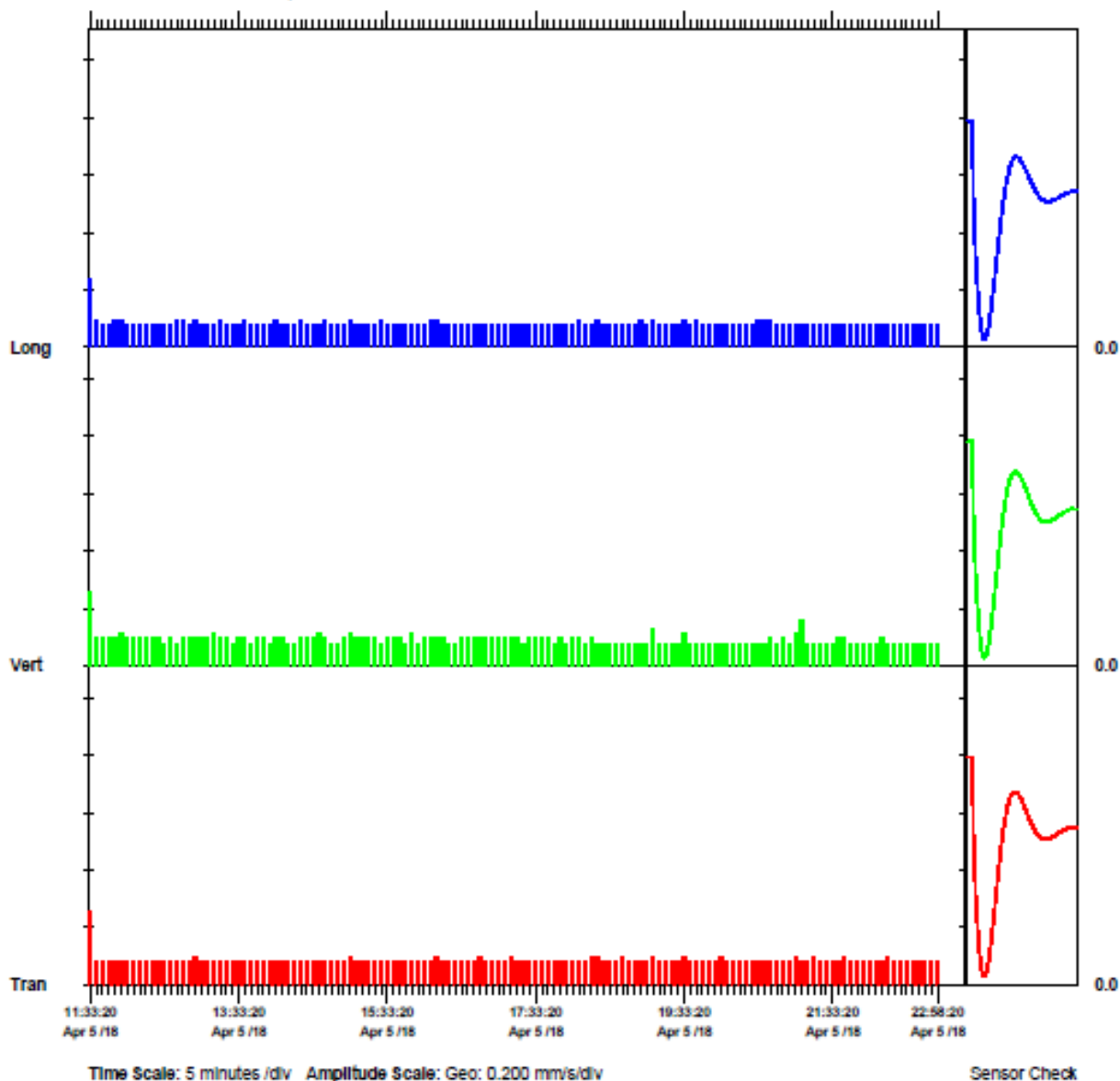
Post Event Notes

Oy Finnrock Ab

Purkutyö
 Länsituulentie 8. 6. krs

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.254	0.254	0.238	mm/s
ZC Freq	>100	>100	>100	Hz
Date	Apr 5 /18	Apr 5 /18	Apr 5 /18	
Time	11:33:20	11:33:20	11:33:20	
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.4	7.3	7.1	Hz
Overswing Ratio	3.9	3.7	4.1	

Peak Vector Sum 0.360 mm/s on April 5, 2018 at 11:33:20



Printed: April 20, 2018 (V 10.60 - 10.60)

Format © 1995-2013 Xmark Corporation



Event Report

Histogram Start Time 04:00:13 April 9, 2018
 Histogram Finish Time 23:00:00 April 9, 2018
 Number of Intervals 227.00 at 5 minutes
 Range Geo:31.7 mm/s
 Sample Rate 1024sps
 Notes MP6

Serial Number BE7916 V 8.12-8.0 MiniMate Plus
 Battery Level 6.6 Volts
 Unit Calibration August 16, 2001 by Instantel Inc.
 File Name I916HD25.SD0

Post Event Notes

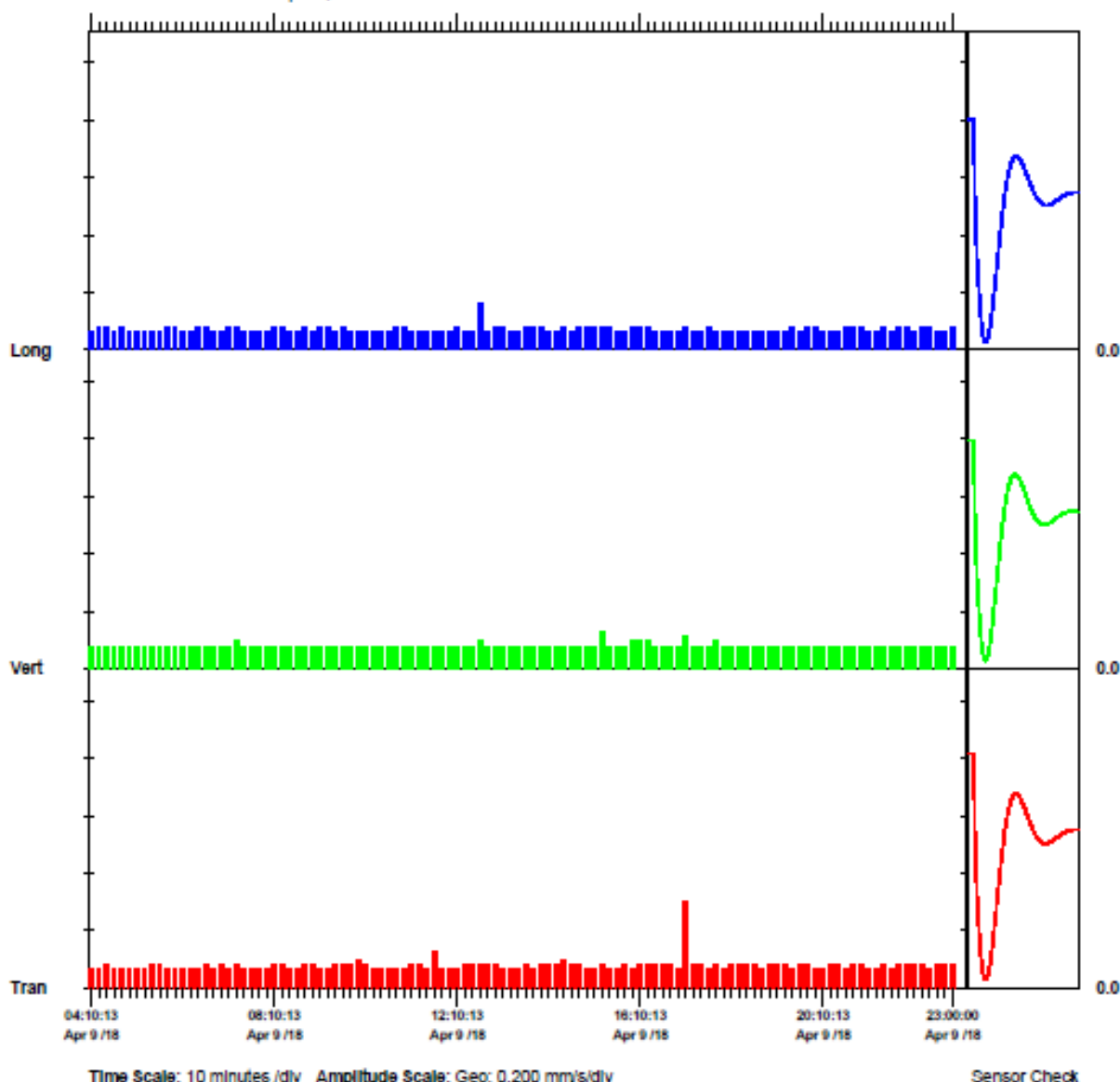
Oy Finnrock Ab

Purkutyo

Länsituulentie 8. 10. krs

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.302	0.127	0.159	mm/s
ZC Freq	85	13	>100	Hz
Date	Apr 9 /18	Apr 9 /18	Apr 9 /18	
Time	17:10:13	15:20:13	12:40:13	
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.5	7.7	7.4	Hz
Overswing Ratio	3.8	3.7	3.8	

Peak Vector Sum 0.315 mm/s on April 9, 2018 at 17:10:13

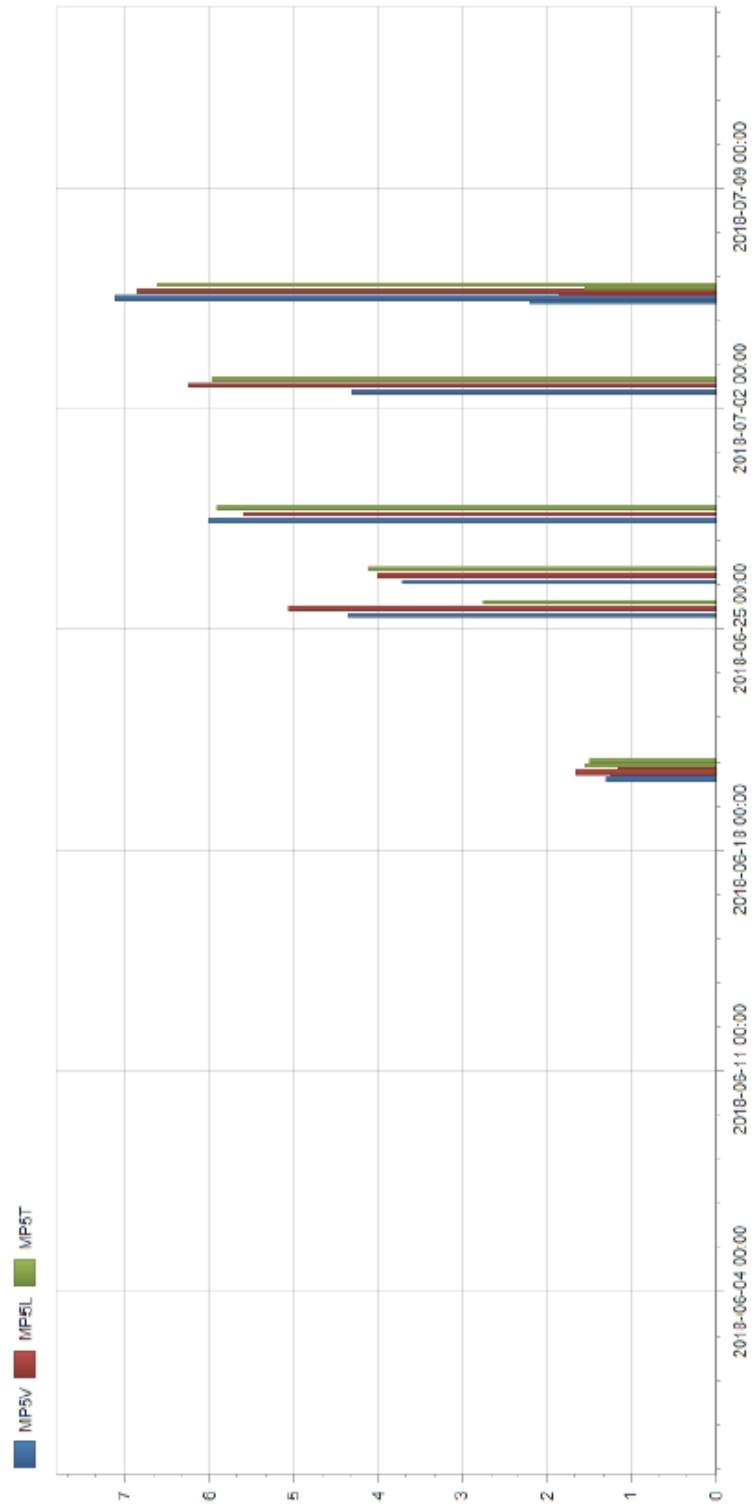




184266
 Petäjäs 2 & 3
 Mittausraportti

Mittausjakso 2018-06-01 00:00:00 - 2018-07-12 00:00:00

Kommentti: Viljasillat Kellarikerros.

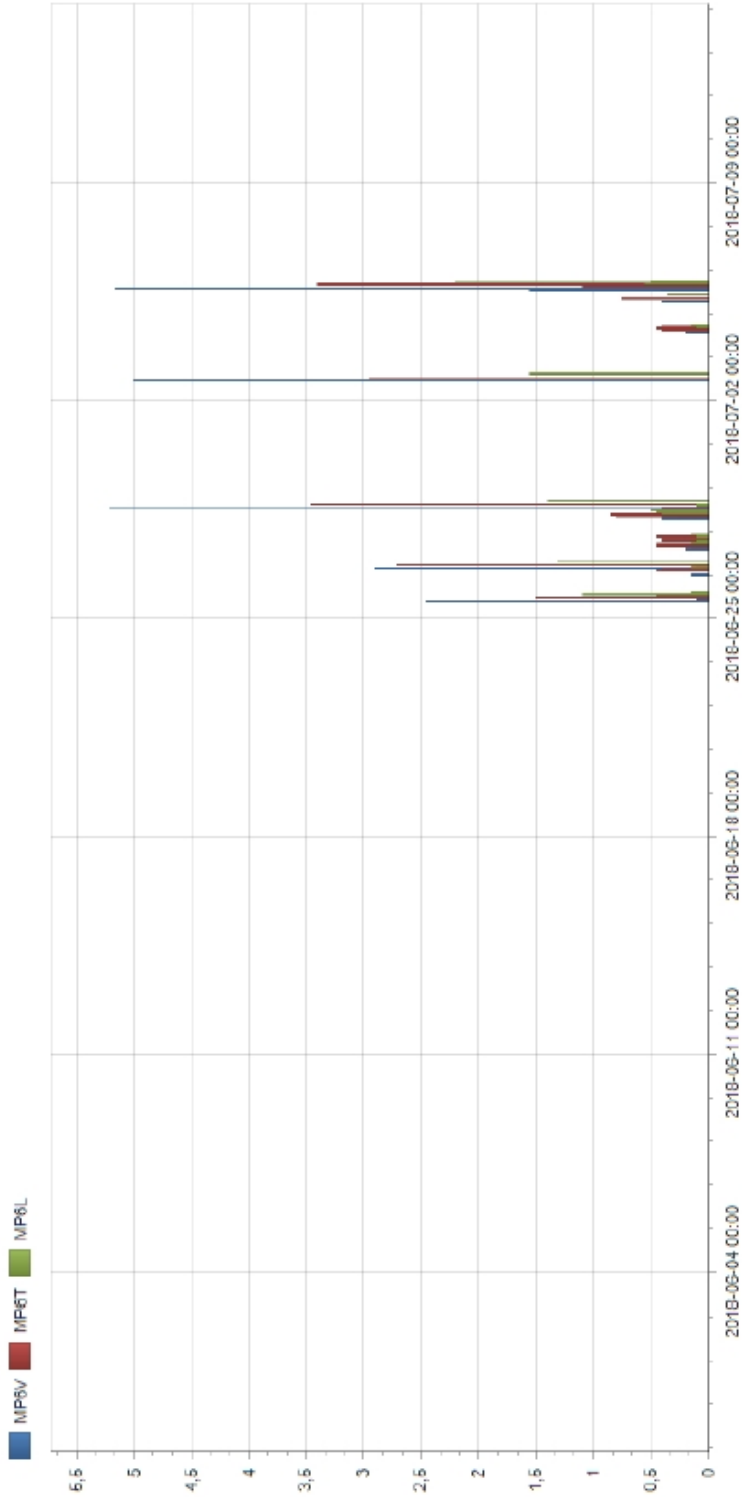




184266
Petäjäs 2 & 3
Mittausraportti

Mittausjakso 2018-06-01 00:00:00 - 2018-07-12 00:00:00

Kommentti: Viljasilot, 8. kerros,

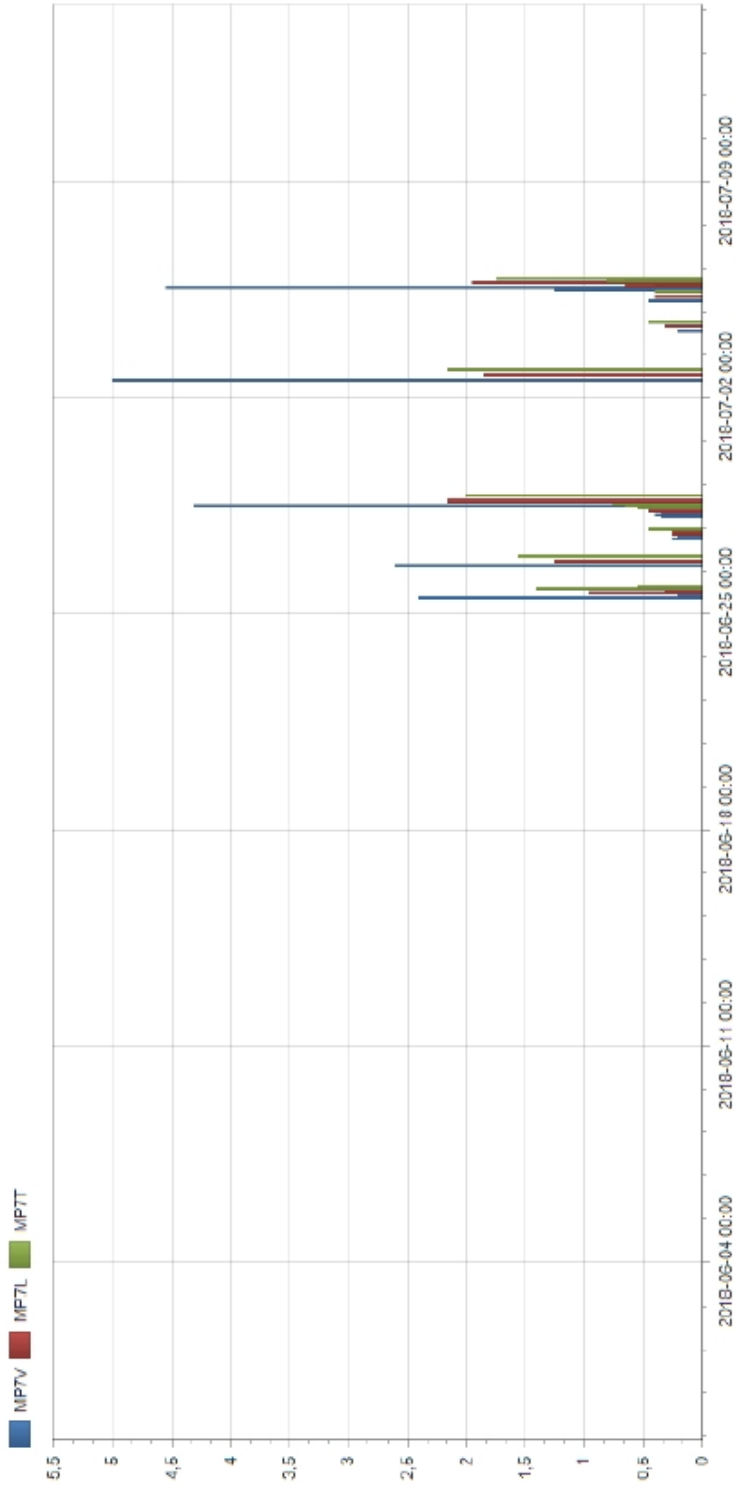


184266
Pitäjä 2 & 3
Mittausraportti



Mittausjakso 2018-06-01 00:00:00 - 2018-07-12 00:00:00

Kommentti: Viilasilot, 17. kerros,

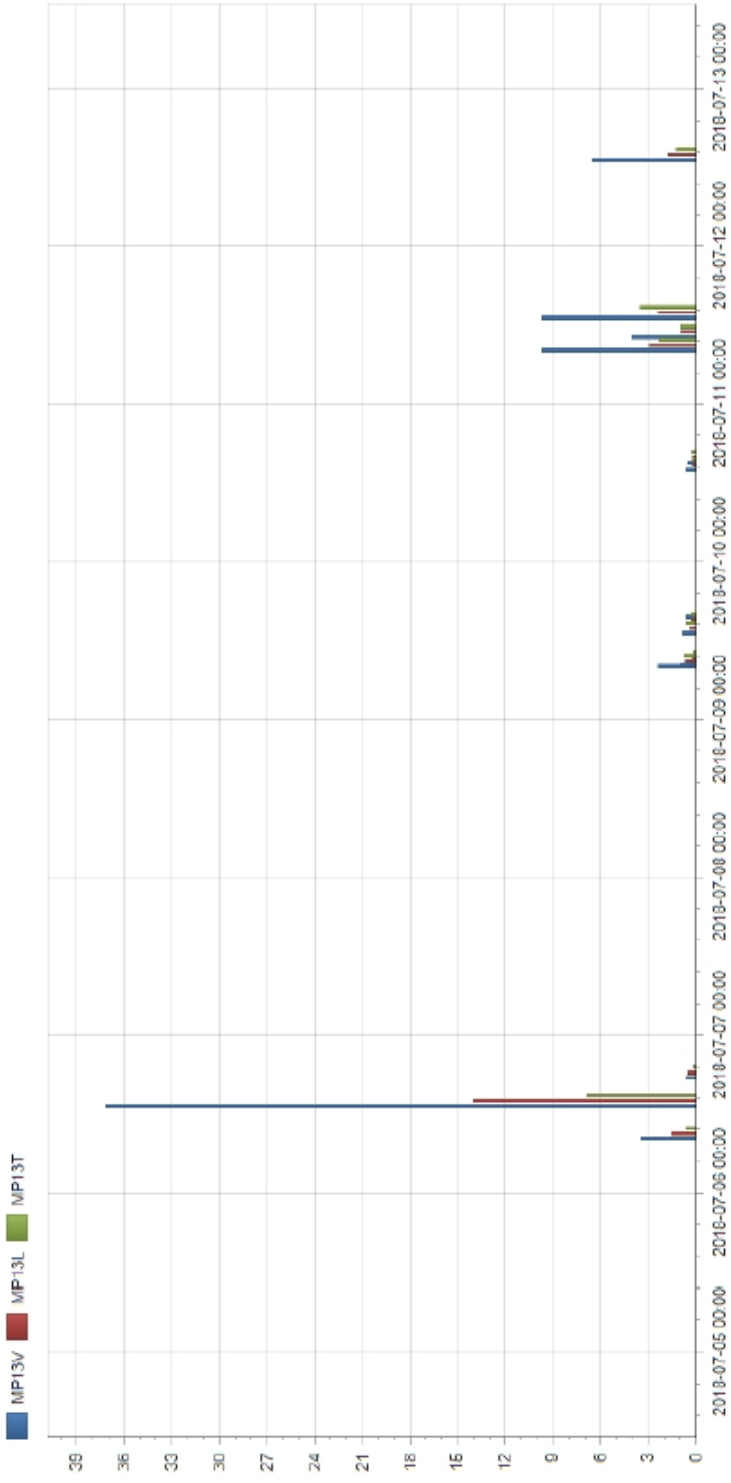


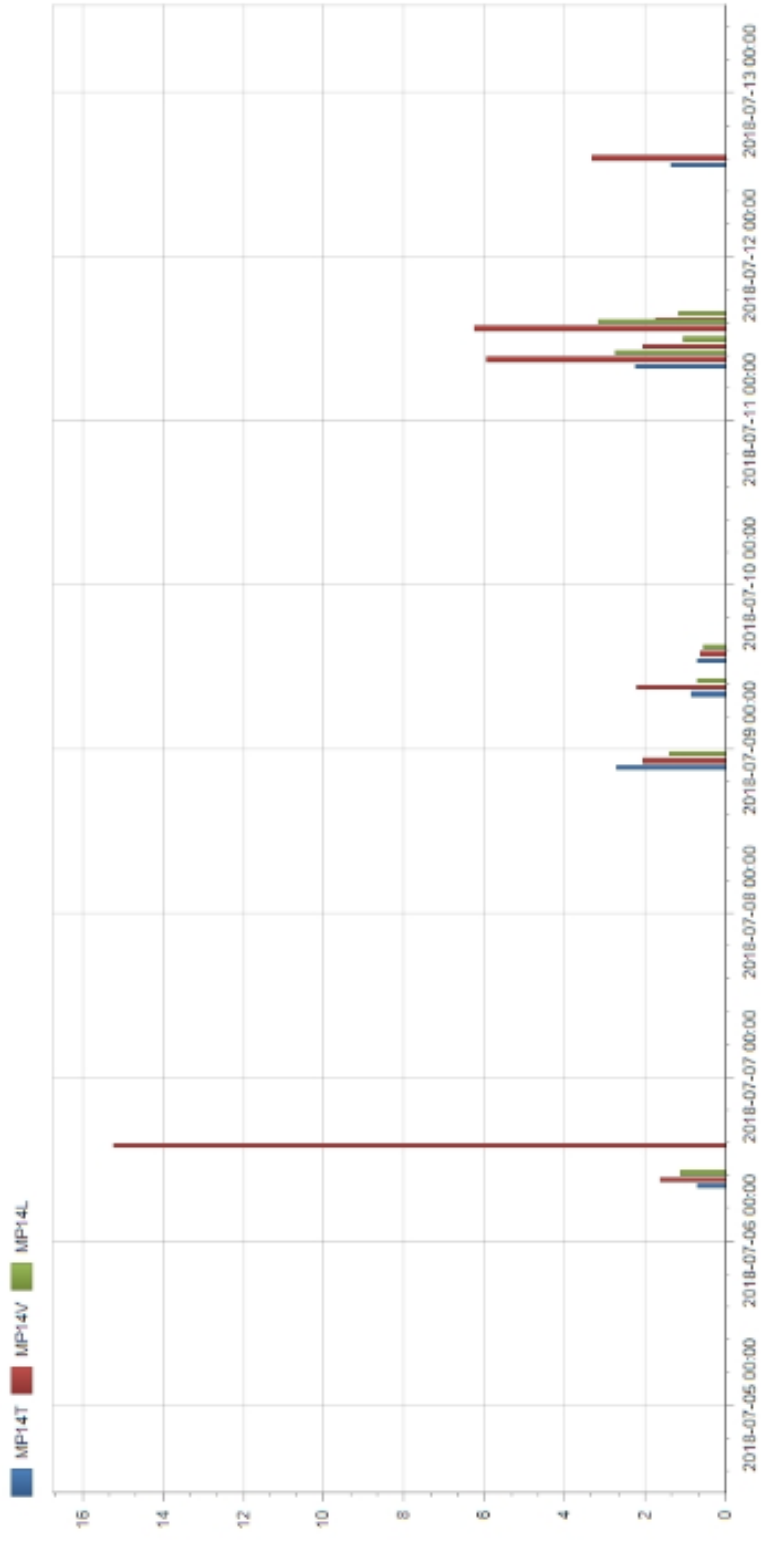


183898
Linnankatu 59, Turku
Mittausraportti

Mittausjakso 2018-07-05 00:00:00 - 2018-07-13 00:00:00

Kommentti: Pakkamkatu 3a B, Kellarikerros,







183898
Linnankatu 59, Turku
Mittausraportti

Mittausjakso 2018-07-05 00:00:00 - 2018-07-13 00:00:00

Kommentti: Pakkariinkatu 3a B. 6. kerros.

